

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Kryštof MARYŠKO

**ZMĚNY KLIMATICKÝCH PRVKŮ VE STŘEDNÍ EVROPĚ A
ČR OD POLOVINY 20. STOLETÍ S DŮRAZEM NA PODZIM**

**CHANGES IN CLIMATE ELEMENTS IN CENTRAL EUROPE
AND THE CZECH REPUBLIC FROM THE MID-20th
CENTURY, FOCUSING ON AUTUMN**

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Radan Huth DrSc.

Praha, 2011

Zadání bakalářské/diplomové práce

Název práce

Změny klimatických prvků ve střední Evropě a ČR od poloviny 20. století s důrazem na podzim

Cíle práce

Rešerše a kritické zhodnocení odborné literatury popisující změny přízemních klimatických prvků v České republice a střední Evropě v období od cca poloviny 20. století, v kontextu změn probíhajících globálně.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Pracovní metody: zejména studium odborné časopisecké literatury, a to české (Meteorologické zprávy) i zahraniční – zejm. časopisy International Journal of Climatology, Theoretical and Applied Climatology, Climate Research, Climatic Change, Journal of Climate i další. Kontext s globální změnou klimatu poskytnou hodnotící zprávy IPCC.

Důraz práce je kladen na podzim, neboť podzim se ve střední Evropě v uvedené době ochlazuje, což je v ostrém kontrastu se změnami teploty v ostatních ročních obdobích a na převážné většině zeměkoule. Přitom přechodná roční období (podzim a jaro) jsou v klimatologických analýzách často přehlížena. Práce by se měla týkat všech klimatických prvků, jejichž dlouhodobé změny se analyzují, tj. zejména teploty a srážek, ale i např. oblačnosti, délky slunečního svitu, vlhkostí atmosféry, rychlostí větru, denní amplitudou teploty.

Datum zadání: 5.11.2010

Jméno studenta: Kryštof Maryško

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 17. srpna 2011

.....

Kryštof Maryško

Poděkování

Rád bych poděkoval mému školiteli RNDr. Radanu Huthovi DrSc. za věnovaný čas, poskytnutí informací a odborné vedení bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá změnami klimatických veličin ve střední Evropě ve 2. polovině 20. století, které jsou porovnávány se změnami v globálním a evropském měřítku. Celá práce je rozdělena do tří hlavních kapitol podle klimatických veličin. Nejvíce jsou zde popisovány změny teplotních ukazatelů, kterými se autoři studií zabývají nejčastěji. Samostatnou kapitolu tvoří také srážky, ale další veličiny jsou shrnuty v jedné kapitole, protože studií na jednotlivé další veličiny je poměrně málo. Průměrné roční teplotní a srážkové trendy vypočítané pro Evropu nebo celý svět byly podobné jako ve střední Evropě. U teplotních ukazatelů bylo během 2. poloviny 20. století ve většině případů zjištěno oteplování a u srážkových ukazatelů převládaly nevýznamné trendy. Mezi sezónními změnami klimatu vynikal zejména podzim, jehož trendy jsou v některých případech (zejména u teplotních ukazatelů) odlišné od ostatních ročních období. Zatímco na jaře, v létě a v zimě dochází ve střední Evropě k oteplování, na podzim se ochlazuje.

Klíčová slova: klimatické prvky, dlouhodobé změny, střední Evropa, podzim

Abstract

This thesis deals with climate elements changes in Central Europe in the 2nd half of the 20th century which are being compared to changes in global and European scale. The entire thesis is divided into three main chapters according to the climate elements. The most described are temperature indicators which the authors of papers study most frequently. Also the precipitation forms a separate chapter, while other elements are all summarized in one chapter, because there are not that many studies about them. The average annual temperature and precipitation trends calculated for Europe or the world were similar to those in Central Europe. As for the temperature indicators, during the 2nd half of the 20th century warming was found in most cases and insignificant trends prevailed for precipitation indicators. Among the seasonal changes in climate, autumn stood out. Its trends were in some cases (especially for temperature indicators) different from the other seasons. Whilst there is warming in Central Europe in spring, summer and winter, it cools in autumn.

Keywords: climate elements, long-term changes, Central Europe, autumn

Obsah:

Přehled použitých zkratk	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	10
1. Úvod	11
2. Teplota	14
2.1 Změny teplotních ukazatelů v globálním a evropském měřítku	14
2.2 Změny teplotních ukazatelů ve střední Evropě	23
3. Srážky	35
3.1 Změny srážkových ukazatelů v globálním a evropském měřítku	35
3.2 Změny srážkových ukazatelů ve střední Evropě	40
4. Další veličiny a jejich souvislost s teplotou a srážkami	46
4.1 Změny dalších veličin v globálním měřítku.....	46
4.2 Střední Evropa	49
5. Diskuze a výsledky	60
6. Závěr	64
7. Seznam literatury a zdrojů	65

Přehled použitých zkratk

CDD – maximální počet po sobě jdoucích dnů beze srážek

DTR – denní teplotní amplituda

IPCC – Intergovernmental panel on climate change

NAOI – index Severoatlantické oscilace

PDSI – Palmer drought severity index

PREC90P – 90. percentil úhrnu srážek v deštivý den (srážky $\geq 1\text{mm}$)

R5D (5D-TOTAL) – úhrn srážek za 5 nejdeštivějších dnů

R75% – počet dní (za rok/roční období/měsíc) s úhrnem srážek nad hodnotou specifickou pro danou stanici, která je pro středně deštivé dny vypočítána jako 75. percentil denních úhrnů srážek v deštivé dny (srážky $\geq 1\text{mm}$) v období 1961–90

R90N (P > 90P) – počet dnů se srážkami většími než dlouhodobý 90. percentil deštivých dnů

R90T (N > 90P) – procentuální úhrn srážek ve dnech s vyšším úhrnem než 90. percentil za deštivé dny

R95% – počet dní (za rok/roční období/měsíc) s úhrnem srážek nad hodnotou specifickou pro danou stanici, která je pro silně deštivé dny vypočítána jako 95. percentil denních úhrnů srážek v deštivé dny (srážky $\geq 1\text{mm}$) v období 1961–90

SDII – průměrný úhrn srážek za deštivý den

Tmax – průměrná maximální teplota

Tmin – průměrná minimální teplota

Tmax10p – 10. percentil průměrné maximální teploty

Tmax90p – 90. percentil průměrné maximální teploty

Tmin10p – 10. percentil průměrné minimální teploty

Tmin90p – 90. percentil průměrné minimální teploty

Seznam obrázků

Obr. 1, Vymezení střední Evropy	12
Obr. 2, Vývoj globální průměrné teploty v období 1850–2005.....	15
Obr. 3, Lineární globální teplotní trendy za období 1979–2005.....	16
Obr. 4, Prostorové rozložení trendů průměrných ročních maximálních a minimálních teplot a denní teplotní amplitudy v období 1951–90.....	17
Obr. 5, Trendy průměrných ročních teplot za období 1946–75, 1976–99 a 1946–99 a trend DTR za období 1946–99	19
Obr. 6, Trendy průměrné teploty v Evropě za období 1976–99 a) v zimě DJF, b) na jaře MAM, c) v létě JJA, d) na podzim SON	20
Obr. 7, Trendy ročního počtu teplých a chladných dnů v období 1946–99	22
Obr. 8, Schematické vyjádření vlivu symetrického zvyšování průměrné teploty na chladné a teplé dny.....	23
Obr. 9, a) Průměrné a extrémní hodnoty lineárních trendů pro průměrnou teplotu, Tmax a Tmin na 23 klimatologických stanicích ČR v období 1961–2005 pro měsíce, roční období a rok; b) Procentuální podíl počtu stanic, na kterých byly kladné trendy statisticky významné.....	26
Obr. 10, Změny a) průměrné teploty, b) Tmax, c) Tmin v ČR v období 1961–2005	27
Obr. 11, Teplotní ukazatele šesti stanic střední Evropy za období 1901–99.....	30
Obr. 12, Průměrné roční teploty v Polsku v období 1951–2000	31
Obr. 13, Sezónní a roční průměrná teplota v alpském regionu v období 1760–1998.....	32
Obr. 14, Globální roční odchylky srážek od standardního období 1981–2000 z dat GHCN pro období 1900–2005	36
Obr. 15, Trendy ročních úhrnů srážek za období 1946–99	37
Obr. 16, Vývoj indexu Severoatlantické oscilace	37
Obr. 17, Kladný index Severoatlantické oscilace a záporný index Severoatlantické oscilace.....	38
Obr. 18, Trendy ročního počtu a) středně deštivých dnů R75% a b) silně deštivých dnů R95% za období 1946–99	39

Obr. 19, a) Maximální a průměrné hodnoty lineárních trendů srážkových úhrnů na 23 klimatologických stanicích ČR v období 1961–2005 pro měsíce, roční období a rok; b) procentuální podíl počtu stanic, na kterých byly trendy statisticky významné; c) změny průměrných ročních úhrnů srážek v ČR v období 1961–2005	42
Obr. 20, Srážkové ukazatele osmi stanic střední Evropy za období 1901–99	44
Obr. 21, Změna Palmer drought severity indexu (PDSI) za období 1900–2002	47
Obr. 22, Roční odchylky množství oblačnosti a srážek v období 1976–2003	48
Obr. 23, Průměrné roční množství oblačnosti v Krakově v letech 1906–2000	50
Obr. 24, Průměrná roční četnost výskytu bezoblačné oblohy v klimatologických termínech v Krakově v letech 1906–2000	51
Obr. 25, Měsíční korelační koeficienty mezi srážkami a množstvím oblačnosti a délkou slunečního svitu a množstvím oblačnosti v období 1901–2000	52
Obr. 26, 50 a 100 leté lineární trendy průměrné teploty a tlaku vzduchu pro a) rok, b) jaro, c) léto, d) podzim, e) zimu	54
Obr. 27, A: Průměrná délka trvání sněhové pokrývky. B: Trend délky trvání sněhové pokrývky. C: Průměrná maximální výška sněhové pokrývky v zimním období. D: Trend maximální sněhové pokrývky	56
Obr. 28, Intenzity sucha v Maďarsku za období 1881–1995.....	59

Seznam tabulek

Tab. 1, Změny teplotních ukazatelů mírných klimatických extrémů za období 1958–2001.....	33
Tab. 2, Průměrné procentuální změny denních extrémních srážkových ukazatelů v období 1958–2001	45
Tab. 3, Roční a sezónní trendy průměrného tlaku vzduchu na stanici Praha-Karlov a Brno-Tuřany v období 1961–2005.....	55
Tab. 4, Lineární trendy geostrofického větru nad střední Evropou v období 1951–2000.....	57

1. Úvod

Změna klimatu se stala zejména v poslední době velmi populárním tématem. V této bakalářské práci se budu zabývat zejména změnami klimatu ve střední Evropě, které ale budou srovnány se změnami klimatu v celé Evropě, na severní polokouli nebo také s globálními změnami. Široce zaměřené studie globálního měřítka jsou v tomto případě vhodné, abychom měli srovnání vývoje trendů střední Evropy s větším územím, ale problémem je, že nenabízí příliš dobré prostorové rozlišení. Pokud detailně zpracováváme nějaké menší území (jednotlivé státy v rámci střední Evropy), tak zjistíme, že v globální studii bylo toto území reprezentováno pouze jednou nebo velmi nízkým počtem stanic, což pro nás samozřejmě nemůže být dostačující. Stejně tak jako jsou studie zpracovávány na několika prostorových úrovních, tak i časový rozsah, kterým se studie zabývají, je velmi důležitý. Tato rozdílnost ve sledovaném období je určována zejména časovými řadami dat, která jsou v daném území dostupná, a se kterými můžeme dále pracovat. Tato práce je zaměřena na 2. polovinu 20. století, protože v tomto období došlo k výraznému růstu globální teploty. Od poloviny 20. století již máme ve střední Evropě poměrně velké množství stanic, které v této době mají měření. Mnoho studií na změny klimatu, které vycházejí z meteorologických dat, jsou zaměřeny pouze na 20. století, protože měření z 19. století má pouze malé množství stanic, jejichž data navíc většinou nejsou homogenní. Problémem jsou zejména chybějící hodnoty, přemístění stanic nebo změna metod měření v průběhu tak dlouhých období.

Velmi důležité jsou studie zaměřené na extrémní situace (sucha, záplavy), protože změny v extrémech mohou mít velké dopady na společnost a ekosystémy. Takovéto studie jsou ale náročnější na množství a kvalitu dat, která nejsou dostupná všude. Větším problémem jsou u těchto studií například chybějící hodnoty, protože v den, pro který nemáme hodnoty, mohlo dojít k extrému, který jsme ale nezaznamenali, což potom může vést k velmi nepřesným výsledkům. (Hundecca a Bárdossy, 2005) Ačkoliv se mnoho prací, zaměřených na celou střední Evropu nebo jednotlivé státy střední Evropy ve 2. polovině 20. století, zabývá změnami klimatických extrémů, ve většině případů je nelze označit jako mimořádné extrémy, které by byly vysoce neobvyklé, ale spíše jako mírné extrémy, které mají dobu opakování kolem 5–60 dnů. To je z toho důvodu, že 50 let je poměrně krátké období pro zjištění, jaké mají tyto

mimořádné extrémní trendy, protože jsou založeny na malém množství hodnot. (Klein Tank a Können, 2003)

Vymezení střední Evropy není vždy jednotné a málokteré studie se zabývají celou střední Evropou. Autoři se nejčastěji věnují jednotlivým státům (např. Brázdil et al., 2009; Domonkos a Tar, 2003; Falarz, 2004; Chládová a Kalvová, 2005; Moliba et al., 2006; Szinell et al., 1998; Wibig a Głowicki, 2002) nebo určité části střední Evropy (Auer et al., 2007; Böhm et al., 2001; Franke et al., 2004; Hundedcha a Bárdossy, 2005). Vymezení, které je dle mého názoru nejvhodnější, je uvedeno na obrázku 1. Jsou zde zařazeny pouze celá území států, ale začlenil bych mezi ně i nejsevernější část Itálie (Alpy), která je v mé bakalářské práci také popsána. Toto vymezení je velmi podobné jako ve studii Brázdil et al. (1996), kde ale autoři zařadili ještě navíc severní část chorvatského vnitrozemí.



Obr. 1, Vymezení střední Evropy. (Wikimedia commons, 2009)

Mnoho studií, které se zabývají vývojem klimatických ukazatelů ve střední Evropě v rámci jednotlivých ročních období, zjistilo, že na podzim dochází k odlišnému vývoji než v ostatních obdobích. Z tohoto důvodu se pro nás podzim stává velice zajímavý. Sezónními nebo měsíčními trendy se zdaleka nezabývají všechny studie,

ale uvedu zde několik, ve kterých je odlišný vývoj podzimu oproti ostatním obdobím zřejmý.

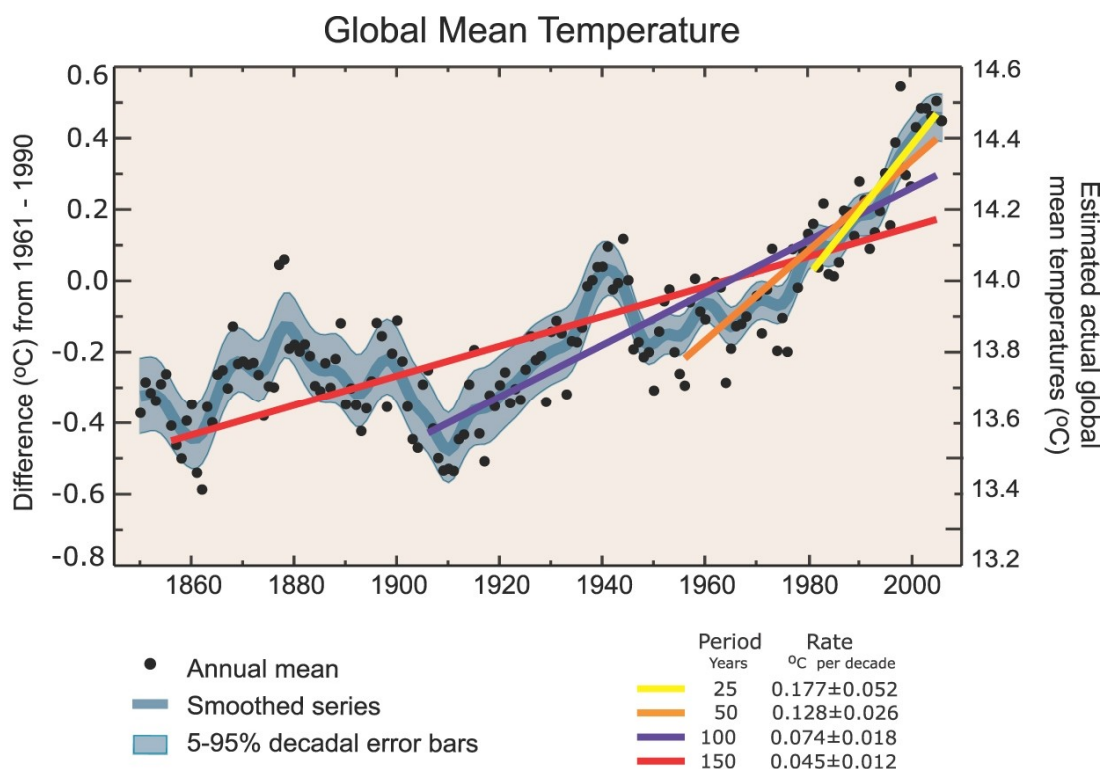
2. Teplota

Nejprve se budeme zabývat teplotou, jejíž změny jsou zejména v globálním měřítku velice často diskutovány. Změny teplot byly během minulého století výrazné, a to zejména v posledních dekádách. V následujících kapitolách popíšeme několik teplotních ukazatelů. V globálním měřítku to bude hlavně průměrná teplota, ale změny teplot v Evropě a zejména ve střední Evropě popíšeme samozřejmě detailněji z pohledu i několika dalších ukazatelů.

2.1 Změny teplotních ukazatelů v globálním a evropském měřítku

O změnách teplotních ukazatelů na celé Zemi nebo v Evropě by se daly napsat samostatné práce, a proto v této kapitole nebudu zabíhat příliš do detailů. Takovéto obecnější pojetí, které uvádím dále i u srážek a dalších veličin, je důležité, abychom měli srovnání, zda je vývoj klimatu střední Evropy stejný nebo odlišný oproti globálnímu či celoevropskému klimatu.

Podívejme se tedy nejprve na dlouhodobější vývoj globální teploty. IPCC (2007) uvádí, že od roku 1850 dochází k růstu globální průměrné teploty (obr. 2). Mezi roky 1850 a 1910 nedošlo k výrazné změně, ale za posledních sto let (1906–2005) dosáhlo globální oteplování hodnoty 0,74 °C. Na čtyřech proložených trendech můžeme vidět, že růst průměrné globální teploty se zrychluje. Tento růst teploty dokládá také fakt, že 11 z 12 nejteplejších let se odehrálo v posledních 12 letech sledovaného období (1850–2006). Globální průměrná teplota v 2. polovině 20. století sice stále roste, ale z počátku tohoto období byl nárůst velmi pozvolný oproti následnému strmému zvyšování teploty zhruba od poloviny 70. let 20. století. Bylo také zjištěno, že v letech 1951–2003 došlo ke snížení výskytu chladných dnů a nocí (10. percentily teplotního rozdělení) a naopak ke zvýšení počtu teplých dnů a nocí (90. percentily teplotního rozdělení), přičemž u chladných a teplých nocí byly změny výraznější.

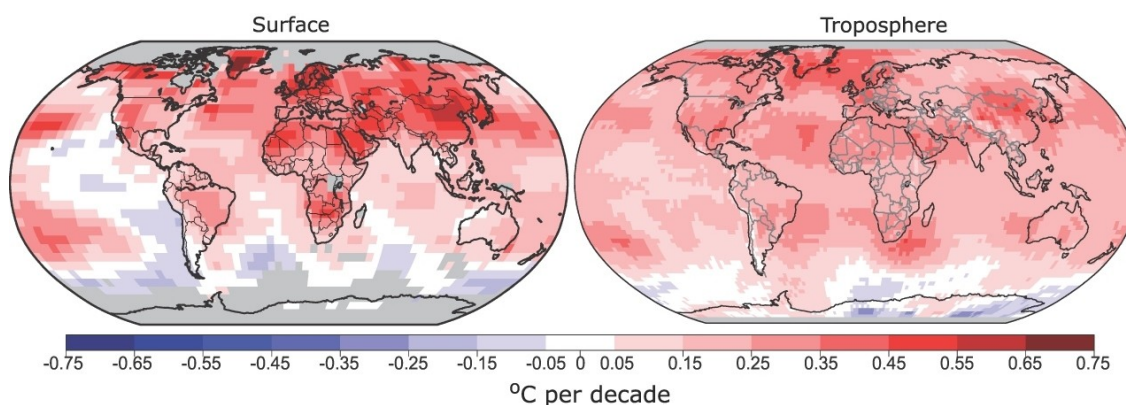


Obr. 2, Vývoj globální průměrné teploty v období 1850–2005. *Roční průměrná teplota je označena černými tečkami. Levá osa značí odchylky od průměrné teploty v období 1961–1990 a na pravé ose je skutečná průměrná teplota. Lineární trendy odpovídají období 1981–2005 (žlutý), 1956–2005 (oranžový), 1906–2005 (fialový) a 1856–2005 (červený).* (IPCC, 2007)

Zejména v posledních letech je pozorováno mnoho důsledků globálního růstu teploty, jakými jsou například výrazné tání grónského ledovcového štítu, úbytek sněhové pokrývky v mnoha regionech severní polokoule, zmenšení tloušťky a rozsahu mořského ledu v Arktidě, oteplování oceánů nebo také vzestup úrovně mořské hladiny. (IPCC, 2007)

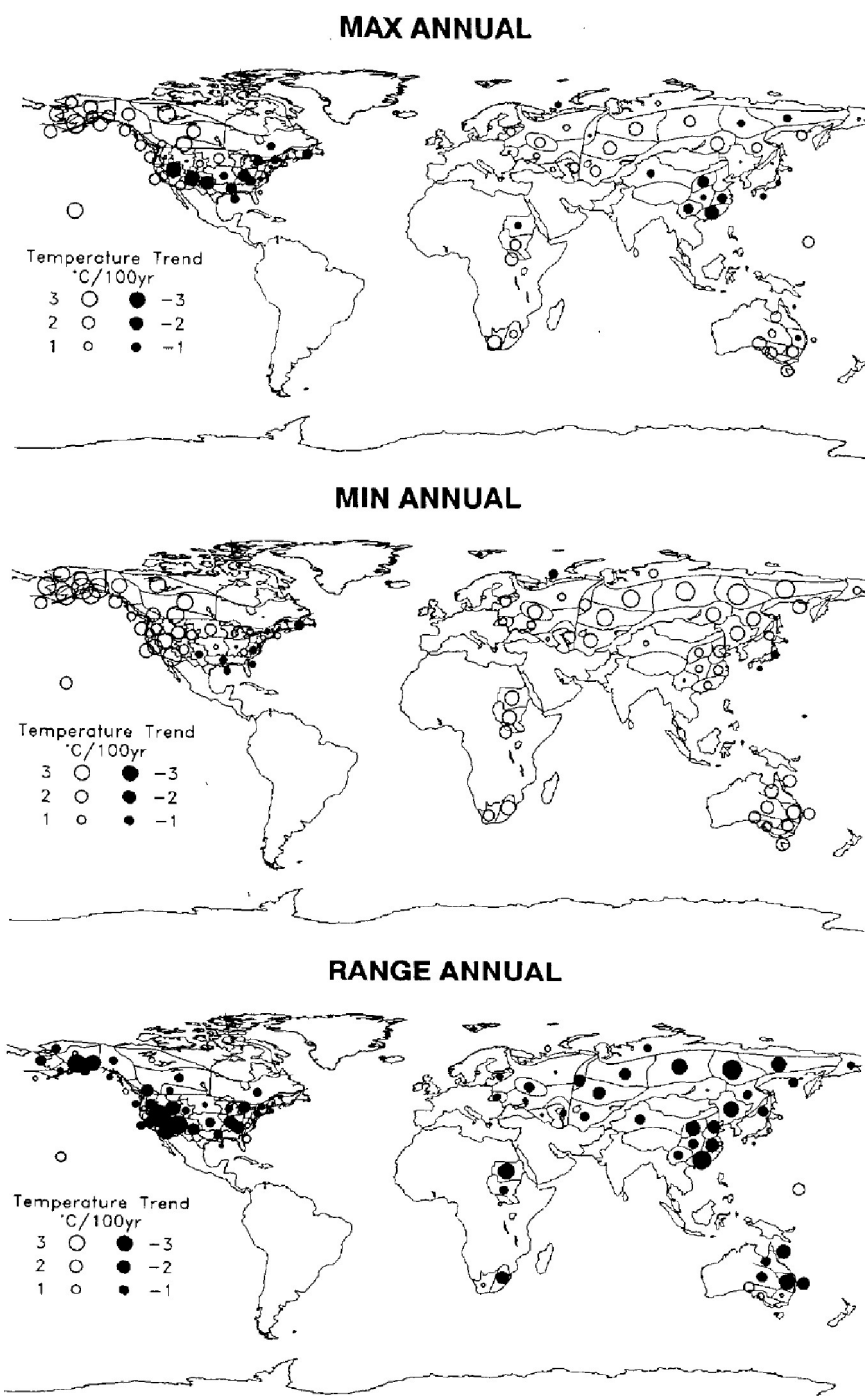
Na obrázku 3 můžeme vidět porovnání trendů teploty, ke kterým docházelo na povrchu Země a v troposféře v období 1979–2005. Pozorované období je omezeno rokem 1979, protože v tomto roce začala družicová měření atmosféry. Z obrázku je zřejmé, že troposférické oteplování je prostorově rovnoměrnější. Teplotní trendy na povrchu Země ukazují, že na pevnině dochází k většímu oteplování než na hladině moře. Ve stratosféře bylo naopak od roku 1979 zjištěno ochlazení, což je v souladu s výsledky mnoha modelů, které poukazují na vliv nárůstu skleníkových plynů na troposférické oteplení a stratosférické ochlazení. Tento vliv skleníkových plynů se dá

vysvětlit tak, že skleníkové plyny částečně brání toku tepla do vyšších vrstev atmosféry, a tudíž s nárůstem jejich koncentrace se otepluje spodní vrstva atmosféry (troposféra) a stratosféra se naopak ochlazuje (Sceptical Science). K ochlazení stratosféry také přispívá úbytek stratosférického ozónu. (IPCC, 2007)



Obr. 3, Lineární globální teplotní trendy za období 1979–2005. Vlevo jsou teplotní trendy na povrchu Země a vpravo jsou teplotní trendy ze satelitních záznamů pro troposféru (od povrchu Země do výšky 10 km). Pro území s neúplnými daty jsou použity šedé pixely. (IPCC, 2007)

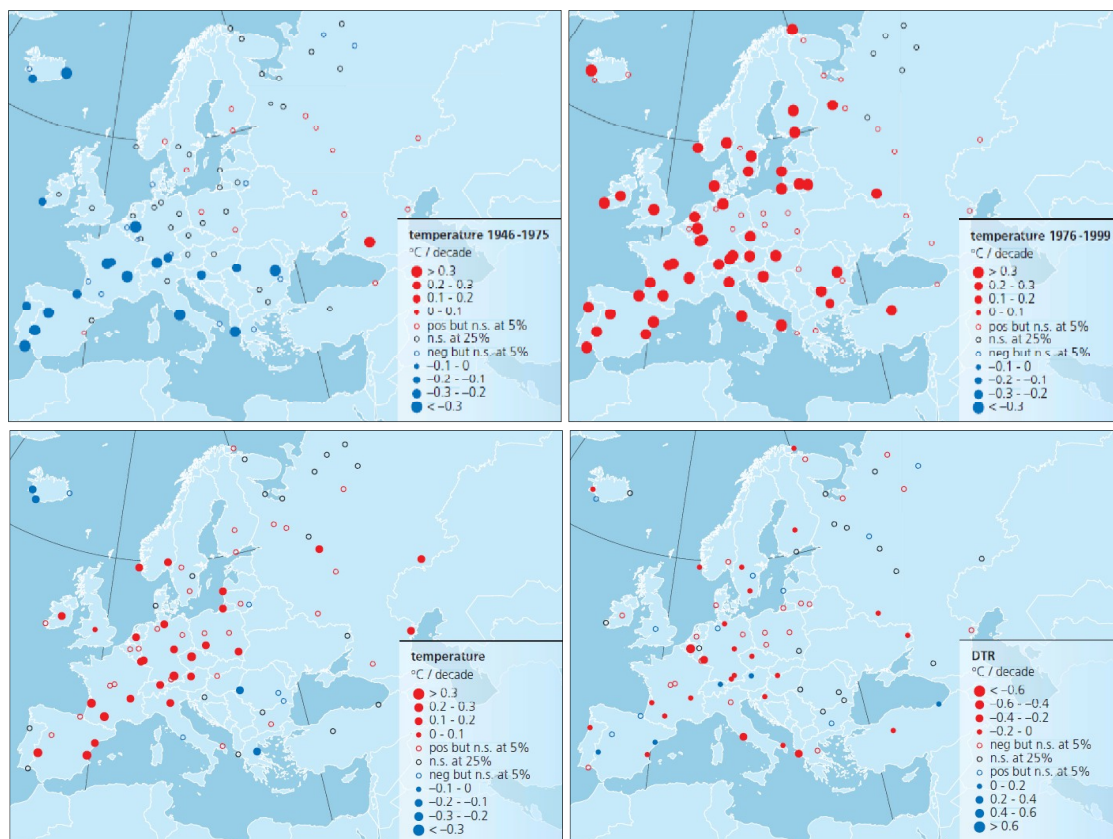
Karl et al. (1993) popisuje globální vývoj průměrné maximální (T_{max}) a minimální (T_{min}) denní teploty a denní teplotní amplitudy (DTR) za období 1951–1990. Musím zde podotknout, že v této studii bylo zahrnuto 50 % plochy pevniny severní polokoule a pouze 10 % plochy pevniny jižní polokoule. Trendy těchto tří ukazatelů jsou zobrazeny na obrázku 4 a můžeme zde vidět, že u T_{max} a T_{min} dochází k nárůstu, i když u T_{max} a ojediněle i u T_{min} najdeme několik regionů, kde je trend opačný. Trendy DTR jsou převážně záporné, ale i zde lze nalézt pár regionů s opačnými trendy. Průměrný trend DTR pro severní polokouli je $-1,4^{\circ}\text{C}/100$ let a je tedy srovnatelný s nárůstem průměrné teploty o $1,3^{\circ}\text{C}/100$ let. Ve sledovaném období 1951–1990 bylo zjištěno, že se T_{min} zvýšila třikrát více než T_{max} ($0,84^{\circ}\text{C}$, respektive $0,24^{\circ}\text{C}$).



Obr. 4, Prostorové rozložení trendů průměrných ročních maximálních a minimálních teplot a denní teplotní amplitudy v období 1951–90 (°C/100 let). *Velikost kruhů je přímo úměrná velikosti trendů a plné (prázdné) kruhy označují záporné (kladné) trendy.* (Karl et al., 1993)

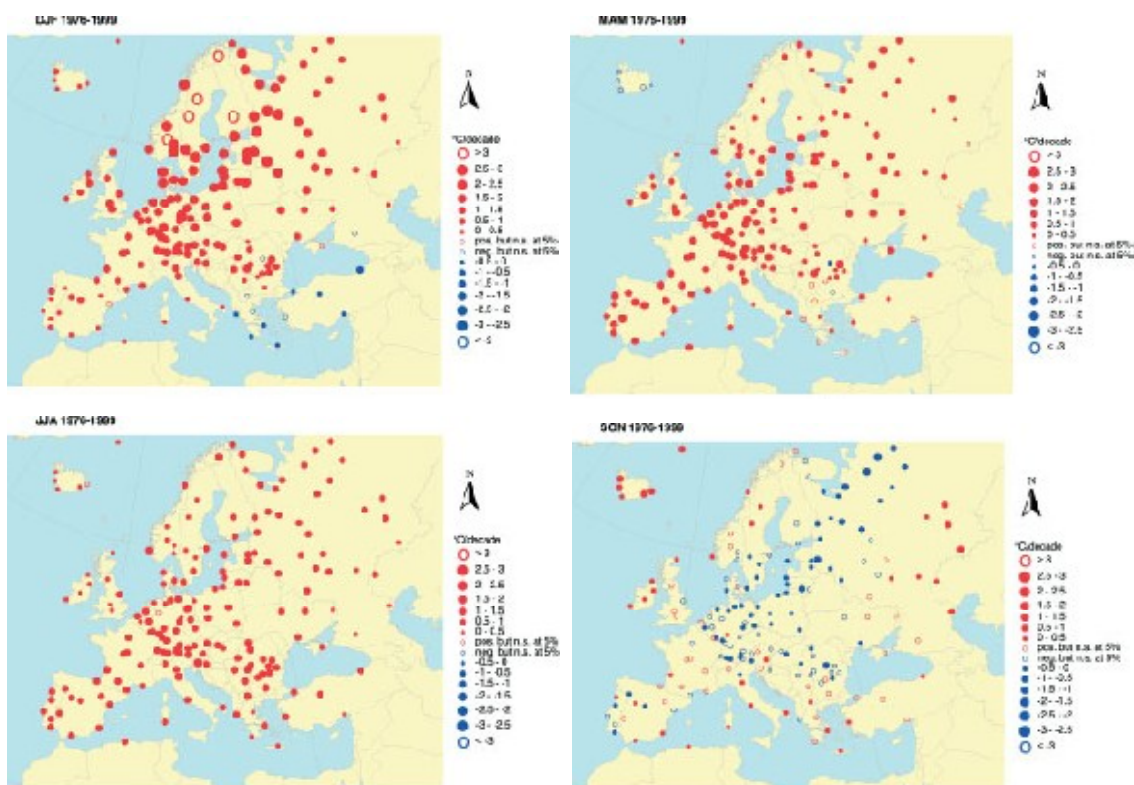
Nyní se dostáváme ke změnám a trendům teplotních ukazatelů v Evropě. Průměrné trendy teplotních ukazatelů v Evropě jsou často velmi podobné trendům ve střední Evropě, a proto se na celý evropský kontinent zaměřím již trochu podrobněji.

Na mnoha stanicích Evropy bylo zjištěno, že během období 1946–99 nedocházelo z pohledu průměrné teploty pouze k oteplování. Na obrázku 5 můžeme vidět, že v první polovině tohoto období docházelo zejména v jižní a západní Evropě k ochlazování a na zbytku území Evropy nebyly nalezeny významné trendy. V období 1976–99 ale dochází k výrazné změně. Většina trendů má hodnotu vyšší než $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ za 10 let a v Evropě se v tomto období nevyskytuje jediný statisticky významný klesající trend. Toto oteplování ke konci minulého století bylo větší než ochlazování v letech 1946–75, z čehož vyplývá, že výsledné trendy průměrné teploty pro 2. polovinu 20. století jsou převážně kladné. Výjimky tvoří oblast jihovýchodní Evropy a Island, kde jsou buď záporné statisticky významné trendy, nebo statisticky nevýznamné trendy. Ke zvyšování průměrné teploty dochází díky nárůstu T_{\min} i T_{\max} . Růst T_{\min} je ale vyšší, což způsobuje snižování DTR. Na obrázku 5 je zobrazen i vývoj DTR ve 2. polovině 20. století a můžeme vidět, že zde převažují nevýznamné trendy. Mezi statisticky významnými jsou ale více zastoupené záporné trendy (Klein Tank et al., 2002). V období 1976–99 docházelo podle studie Klein Tank a Können (2003) naopak k růstu DTR, které ale bylo méně intenzivní než snížení DTR v letech 1946–75.



Obr. 5, Trendy průměrných ročních teplot za období 1946–75 (vlevo nahoře), 1976–99 (vpravo nahoře) a 1946–99 (vlevo dole) a trend DTR za období 1946–99 (vpravo dole). Velikost teček odpovídá velikosti trendů za 10 let a barevné označení je a) červené pro oteplení (pro snižování DTR) b) modré pro ochlazení (pro zvyšování DTR). Malé tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 % (respektive 25 %). (Klein Tank et al., 2002)

Klein Tank et al. (2005) popisují vývoj sezónní průměrné denní teploty v Evropě za období 1976–99, kdy dochází k největšímu oteplování ve 20. století (obr. 6). Bylo zjištěno, že k největšímu oteplování dochází v zimě, kdy se v severní Evropě objevují hodnoty zvyšování průměrné teploty přes 0,3 °C za dekádu. Na stanicích v Řecku a Turecku ale byly také zaznamenány snižující se trendy průměrné teploty. Průměrná teplota v létě a na jaře stoupá méně než v zimě. Na podzim se na většině území Evropy objevují naopak záporné trendy teploty až 0,15 °C za dekádu. Je tedy zřejmé, že podzimní ochlazování se týká nejen střední Evropy, ale i dalších evropských oblastí.



Obr. 6, Trendy průměrné teploty v Evropě za období 1976–99 a) v zimě DJF, b) na jaře MAM, c) v létě JJA, d) na podzim SON. Upozornění: hodnoty trendů na obrázku jsou 10krát větší, než jsou hodnoty trendů ve skutečnosti. Velikost teček odpovídá velikosti trendů a barevné označení je a) červené pro oteplování b) modré pro ochlazování. Malé tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 %. (Klein Tank et al., 2005)

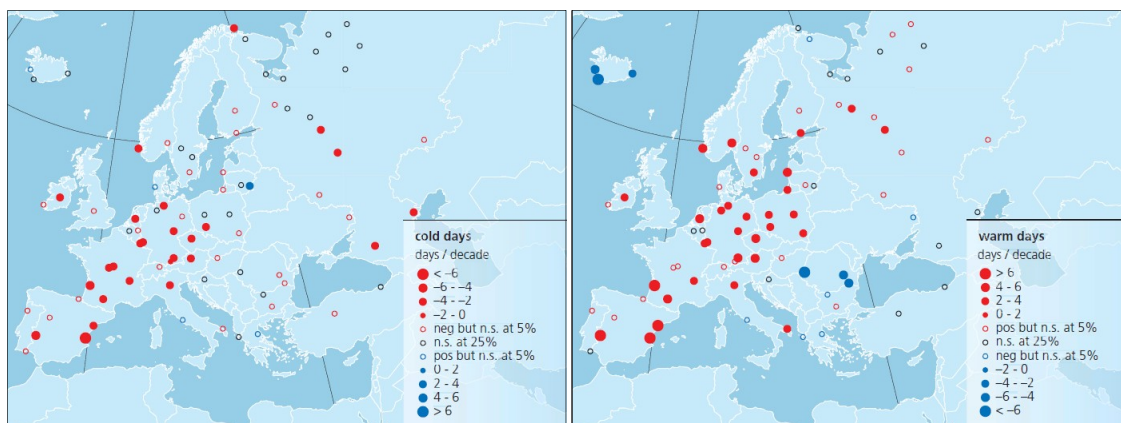
Nyní se dostáváme k extrémním teplotním ukazatelům. I když by se mohlo zdát, že se budeme bavit o událostech, ke kterým dochází velmi zřídka, v tomto případě jde pouze o tzv. mírné extrémy, které mají dobu opakování v řádu týdnů, neboť analyzované období (2. polovina 20. století) není dostatečně dlouhé, aby se v něm daly analyzovat výjimečnější extrémní situace (Klein Tank a Können, 2003).

Ukazatele, jako například mrazové dny (den, kdy minimální teplota klesne pod 0 °C) nebo letní dny (den, kdy maximální teplota vystoupí nad 25 °C), jsou postaveny na absolutních prahových hodnotách, které mají většinou fyzikální, hydrologický nebo biologický význam. Absolutní práh, jako například 0 °C pro mrazové dny, ale má i své nevýhody, protože není příliš vhodný například pro srovnávání velkého území. U tak velkého území, jako je celý evropský kontinent, se počty mrazových dnů v čase mění v odlišných ročních dobách. V severní části Evropy se tato změna odehrává zejména

na jaře a na podzim, zatímco v jižní části Evropy k tomu dochází v období zimy (Heino et al., 1999). Podobně je ovlivněn i absolutní práh 25 °C u letních dnů, kdy se změny v počtu těchto dnů v severní části Evropy odehrávají v létě, kdežto na jihu Evropy změny v počtu letních dnů ovlivňují zejména jarní a podzimní teploty. (Klein Tank et al., 2002)

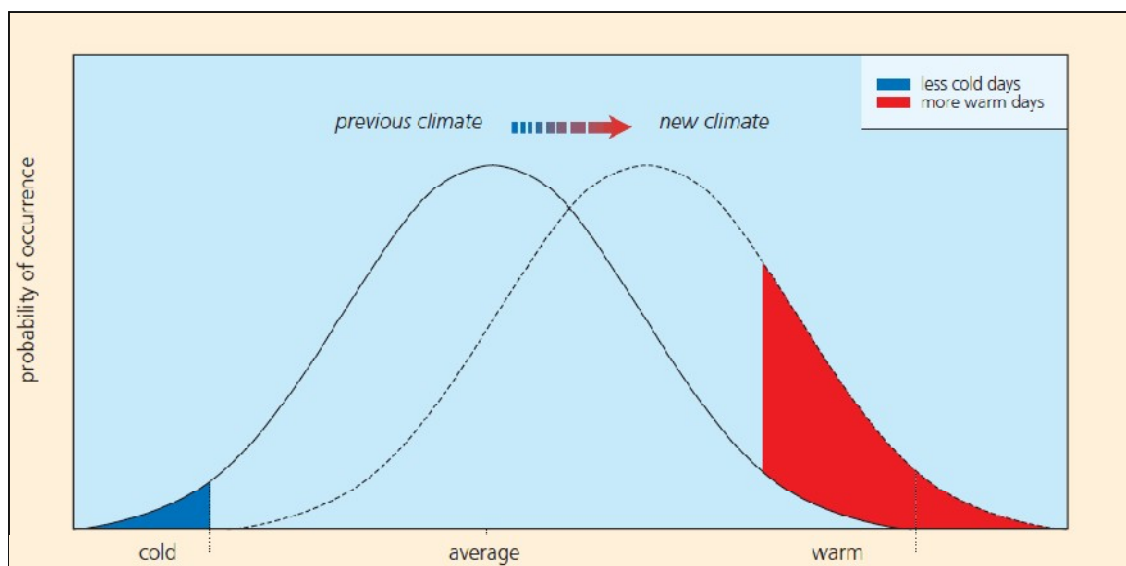
Podle Klein Tank a Können (2003) trend počtu mrazových dnů na většině stanic Evropy vykazuje za období 1946–99 pokles. Dokonce nebyla nalezena žádná stanice, na které by se statistickou významností na hladině 5 % mrazových dnů přibývalo. U letních dnů tak zřetelný celoevropský trend nenajdeme, ale převažují zde stanice s přibývajícím počtem letních dnů. Avšak v jihovýchodní Evropě lze nalézt 4 stanice s významnými klesajícími trendy počtu letních dní. V celoevropském měřítku to znamená, že na konci období 1946–99 bylo v průměru o 9,2 mrazových dnů méně a o 4,3 letních dnů více než na začátku tohoto období.

Ukazatele postavené na absolutních prahových hodnotách, které nemusí být vhodné pro porovnatelnost na tak velkém území, můžeme nahradit tím, že použijeme ukazatele s percentilovými prahovými hodnotami, které jsou určovány pro každou stanici zvlášť, a jsou tedy vztaženy k lokálnímu klimatu. Na obrázku 7 máme trendy počtu teplých a chladných dnů, které jsou definovány jako 90. a 10. percentil rozdělení odchylek denní průměrné teploty od průměrného ročního chodu v období 1961–90. Z obrázku je zřetelný úbytek ročního počtu chladných dnů a naopak zvyšování počtu dnů teplých. Oba tyto ukazatele tedy signalizují oteplování v období 1946–99. Za povšimnutí ale jistě stojí několik stanic v jihovýchodní Evropě a na Islandu, kde počet teplých dnů klesá i více než o 6 dní za deset let. Podobné rozložení trendů oteplování a ochlazování, jaké je u teplých dnů, jsme mohli vidět již u vývoje průměrné denní teploty v období 1946–99 (obr. 5, vlevo dole). (Klein Tank et al., 2002)



Obr. 7, Trendy ročního počtu teplých a chladných dnů v období 1946–99. Velikost teček odpovídá velikosti trendů za 10 let a barevné označení je a) červené pro trendy snižování ročního počtu chladných dnů (zvyšování ročního počtu teplých dnů) b) modré pro trendy zvyšování ročního počtu chladných dnů (snižování ročního počtu teplých dnů). Malé tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 % (respektive 25 %). (Klein Tank et al., 2002)

Pro analýzu klimatické změny je důležité, zda tyto ukazatele (chladné a teplé dny) signalizují oba oteplování, ochlazování nebo zda jsou rozdílné. Při posunu celého teplotního rozdělení do vyšších teplot dochází k oteplování chladných i teplých dnů (obr. 8). V evropském průměru dochází v období 1946–99 k ubývání chladných (-1,4 dnů za dekádu) a přibývání teplých dnů (2,0 dnů za dekádu), což odpovídá modelu na obrázku 8. Při takovémto posunu teplotního rozdělení je tedy nárůst počtu teplých dnů vyšší než úbytek počtu chladných dnů. (Klein Tank et al., 2002)



Obr. 8, Schematické vyjádření vlivu symetrického zvyšování průměrné teploty na chladné a teplé dny. Teplotní rozdělení při předešlém klimatu je označeno spojitou čarou, nové teplotní rozdělení po změně klimatu je označeno přerušovanou čarou. Modrou barvou je vyjádřen úbytek chladných dnů při změně klimatu a červenou barvou je vyjádřeno zvýšení počtu teplých dnů. V novém teplotním rozdělení se již neobjevují tak chladné dny jako tomu bylo dříve, ale naopak rapidně přibývá teplých dnů a ještě se začínají objevovat i extrémně teplé dny, které se v předchozím teplotním rozdělení nevyskytovaly. [Klein Tank et al., 2002 (podle IPCC, 2001; obr. 2.32a)]

2.2 Změny teplotních ukazatelů ve střední Evropě

Nyní se dostáváme k jedné z hlavních částí této práce. Nejdříve se podíváme na průměrnou teplotu, T_{max} , T_{min} a DTR, protože těmito teplotními ukazateli se zabývá většina studií. Postupně se ale dostaneme také k některým extrémním teplotním ukazatelům – horké a studené vlny, mrazové dny.

Brázdil et al. (1996) uvádí, že v období 1951–90 došlo ve střední Evropě ke zvýšení průměrné teploty o $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}$. T_{min} vzrostla o $0,60\text{ }^{\circ}\text{C}$, což bylo více než zvýšení T_{max} , ta totiž vzrostla o $0,52\text{ }^{\circ}\text{C}$. DTR byla měřena z rozdílu T_{max} a T_{min} , z čehož vyplývá, že se v tomto období snížila o $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zvýšení průměrné teploty je nižší než zvýšení T_{max} i T_{min} , což není úplně obvyklé. Způsobeno by to ale mohlo být tím, že byla průměrná teplota nejspíše vypočítána z termínových měření, a nikoliv z hodnot T_{max} a T_{min} . Již v předchozí kapitole byla uvedena studie Karl et al. (1993), kde byla ve stejném období mimo jiné také počítána změna T_{min} a T_{max} a bylo zjištěno, že se

T_{min} zvýšila třikrát více než T_{max} (0,84 °C, respektive 0,24 °C). Rozdíl mezi minimální a maximální teplotou je tedy v globálním měřítku mnohem větší a z toho vyplývá, že u DTR došlo k mnohem výraznějšímu snížení oproti střední Evropě.

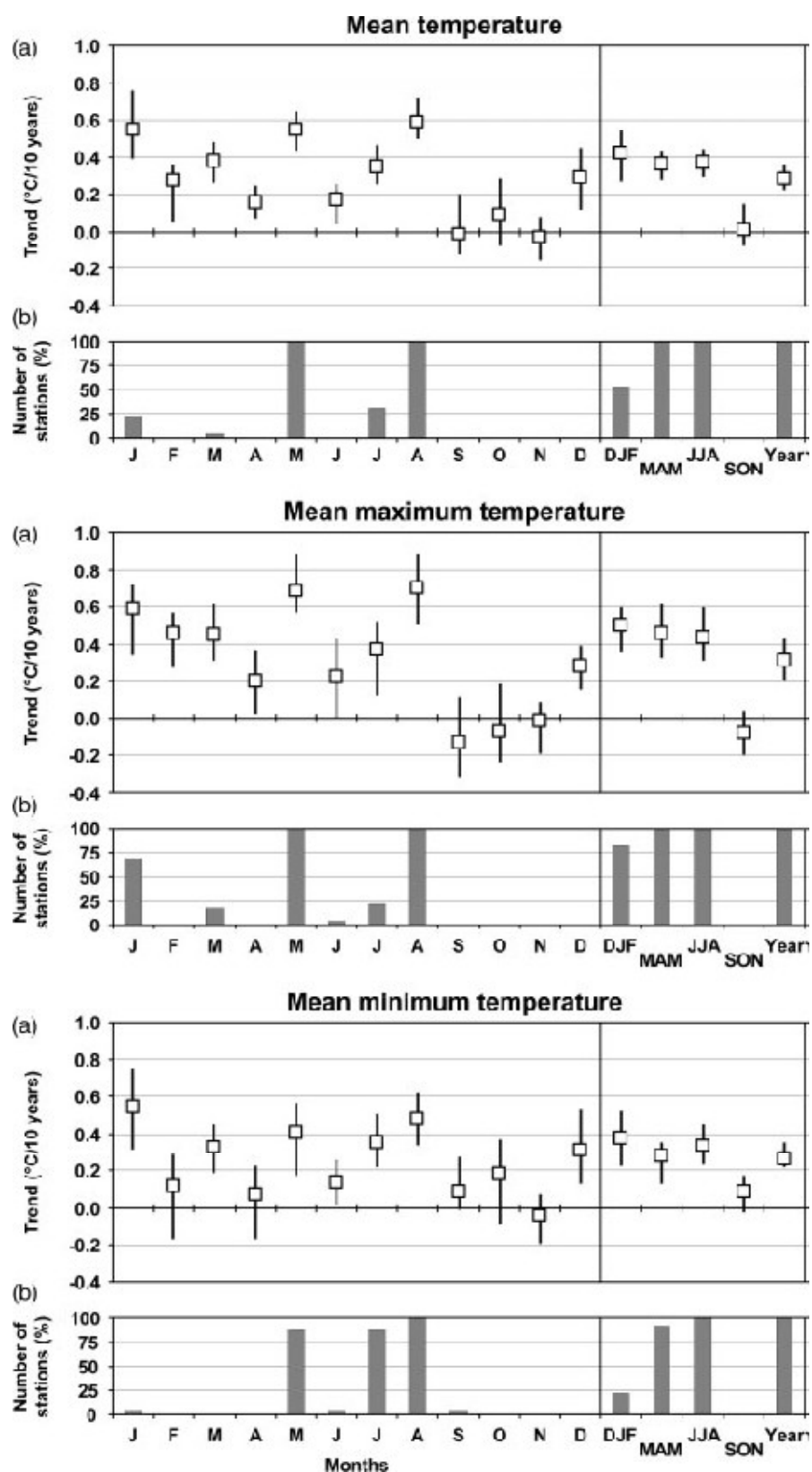
U porovnávání denní průměrné teploty může někdy nastat problém, protože v některých státech se vypočítává jako rozdíl T_{max} a T_{min} , ale v jiných se vypočítává jako aritmetický průměr z několika denních měření. Například v Rakousku se denní průměrná teplota vypočítává jako aritmetický průměr z 24 hodinových měření, v Maďarsku z 8 měření v synoptických termínech, v Polsku také z 8 nebo 4 měření v synoptických termínech a v ostatních státech Evropské unie je to z měření v 7, 14 a 21 hodin místního času s tím, že hodnota z měření ve 21 hodin se započítává dvakrát. (Brázdil et al., 1996)

Sezónní trendy T_{max} pro celou střední Evropu, které uvádí Brázdil et al. (1996), byly v letech 1951–90 ve všech ročních obdobích kladné. Nejvyšší trend byl zaznamenán v zimě (0,32 °C za 10 let) a naopak nejnižší na podzim (0,02 °C za 10 let). Kladné byly ve všech obdobích i trendy T_{min} . Nejvyšší trend T_{min} byl zaznamenán opět v zimě (0,29 °C za 10 let) a nejnižší tentokrát v létě (0,02 °C za 10 let). V žádném ročním období ale nebyl zaznamenán výrazný rozdíl mezi T_{max} a T_{min} a z tohoto důvodu byl trend DTR vždy téměř nulový.

Weber et al. (1997) se ve své studii zabývali horskými (nad 800 m n. m.) i níže položenými stanicemi některých států střední Evropy (zejména Švýcarska, Rakouska, Česka, Slovenska a Chorvatska) na kterých zjišťovali sezónní a roční trendy T_{max} , T_{min} a DTR ve stejném období jako Brázdil (1996). Území bylo rozděleno do několika oblastí, ve kterých byly trendy těchto ukazatelů podobné. Na západních nízko položených stanicích byl trend T_{min} rostoucí, stejně jako u T_{max} (s výjimkou jara), ale trend T_{min} byl vyšší, a proto DTR klesala, zejména na jaře. Na rakouských nízko položených stanicích byly trendy podobné, ale T_{min} zde nestoupala rychleji než T_{max} a trend DTR proto nebyl významný. Horské stanice v centrálních Alpách vykazovaly stoupající trendy T_{min} i T_{max} (zejména v zimě) a trend DTR byl stejně jako v předchozím případě malý a nevýznamný. Ve východních Alpách byl trend u T_{min} nevýznamný a T_{max} kladný. Výsledný trend DTR byl zde kladný. Na českých a slovenských horských stanicích byly průměrné roční trendy T_{min} a T_{max} kladné (v létě a na podzim záporné) a průměrné roční i sezónní trendy DTR byly na většině stanic záporné. Rozdílnost trendů DTR byla očekávaná, protože DTR může být značně ovlivněna oblačností, která se v horských a nízkých polohách značně liší.

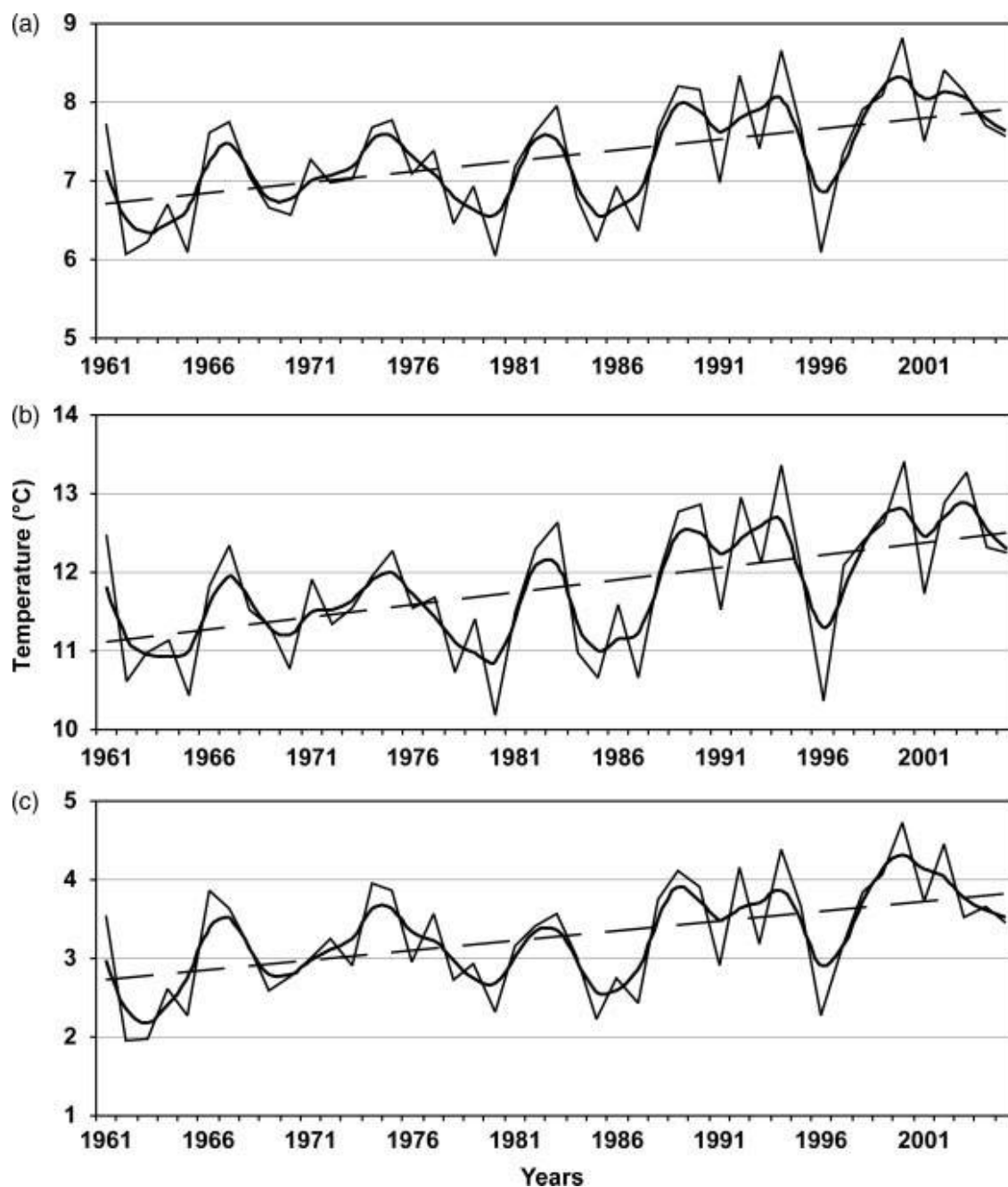
Ve studii Brázdil et al. (1995) byly zkoumány a porovnávány trendy teplotních ukazatelů v České republice a na Slovensku v období 1961–1992. Průměrná teplota, T_{\max} i T_{\min} byly v obou případech v tomto období rostoucí, ale na Slovensku s nižšími trendy. Například trend průměrné roční teploty byl pro ČR 0,24 °C/10 let a pro SR 0,14 °C/10 let. Velmi podobné trendy jako u průměrné teploty byly zaznamenány také u T_{\max} a T_{\min} . Na jaře, v létě a v zimě byly zaznamenány v ČR i SR kladné trendy těchto tří ukazatelů a výjimka se opět vyskytla na podzim, kde byly trendy všech teplotních ukazatelů v obou státech záporné. Znaménka trendů DTR se sice mezi těmito státy lišila (0,03 °C/10 let pro ČR; -0,04 °C/10 let pro SR), ale hodnoty trendů nebyly příliš rozdílné.

Brázdil et al. (2009) i ve své další studii zaměřené na území České republiky v letech 1961–2005 zjistili kladné trendy průměrné roční teploty, T_{\max} a T_{\min} . V této práci se ale zabývali nejen průměrnými ročními, ale také měsíčními a sezónními hodnotami (obr. 9). V lednu, květnu a srpnu byly zaznamenány nejvyšší trendy, které jsou pro měsíce květen a srpen statisticky významné na všech stanicích. Podzimní trendy jsou velmi odlišné od trendů v ostatních ročních obdobích, protože v tomto období byly na podzim buď velice malé kladné trendy, nebo u T_{\max} došlo dokonce k zápornému trendu. Nutno ale podotknout, že podzimní trendy nebyly na žádné stanici statisticky významné. Jarní, letní a zimní trendy všech zmiňovaných ukazatelů jsou kladné a navzájem velmi podobné. Téměř stejný vývoj jako u předešlých ukazatelů je také u DTR, ta po většinu roku stoupá, ale v měsících září, říjen a prosinec klesá se statistickou významností zhruba na 25 % stanic. Průměrné trendy pro rok a roční období jsou tedy kladné, s výjimkou podzimu. Podle studie Huth a Pokorná (2005) DTR souvisí kromě jara ve všech ročních dobách a celém roce více s T_{\min} než s T_{\max} . Čím je nárůst T_{\min} vyšší, tím je nárůst DTR nižší.



Obr. 9, a) Průměrné a extrémní hodnoty lineárních trendů pro průměrnou teplotu, Tmax a Tmin (°C/10 let) na 23 klimatologických stanicích ČR v období 1961–2005 pro měsíce, roční období a rok; b) Procentuální podíl počtu stanic, na kterých byly kladné trendy statisticky významné. (Brázdil et al., 2009)

Meziroční proměnlivost výše uvedených teplotních ukazatelů můžeme vidět na obrázku 10. Po roce 1980 se začaly teploty výrazněji zvyšovat. Tento nárůst byl ale narušen velmi chladným rokem 1996, který se přiblížil nejnižším hodnotám za celé období. (Brázdil et al., 2009)



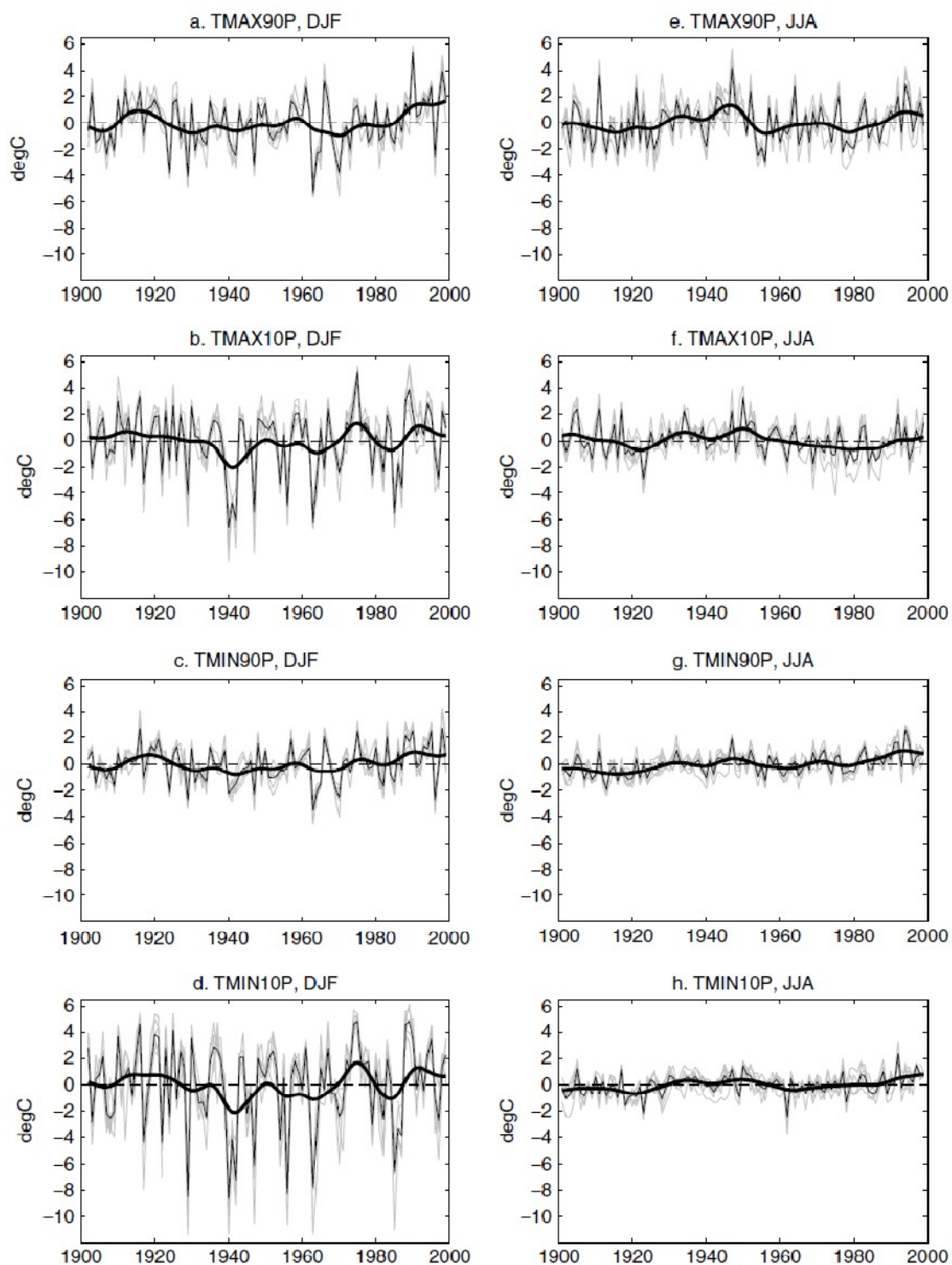
Obr. 10, Změny a) průměrné teploty, b) Tmax, c) Tmin v ČR v období 1961–2005. Černá spojitá čára značí 5letý klouzavý průměr; přerušovaná čára znázorňuje lineární trend. (Brázdil et al., 2009)

Na území České republiky byly v období 1961–2000 také zkoumány trendy 10. a 90. percentilů maximální a minimální teploty (Chládová a Kalvová, 2005). Nejvyšší růst hodnot $T_{\max 90p}$ byl v zimě ($0,096\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$) a byl statisticky významný na 26 z 29 stanic. Hodnoty $T_{\max 90p}$ rostly také na jaře a v létě, ale již se statistickou významností na méně než polovině stanic. Nejvyšší průměrné hodnoty $T_{\max 90p}$ na jaře, v létě a v zimě byly zaznamenány v posledním desetiletí. Trend na podzim měl naopak na téměř všech stanicích záporné znaménko, ale bez prokázání statistické významnosti. Trend $T_{\max 10p}$ na jaře, v létě a v zimě zaznamenal opět růst a na podzim klesl. Na jaře a v zimě došlo k prokázání nenulového trendu na více stanicích u $T_{\max 90p}$ než u $T_{\max 10p}$, a v těchto obdobích se tedy zvyšovaly spíše hodnoty 90. percentilů než hodnoty 10. percentilů. V létě byly naopak trendy 10. percentilů statisticky významné na více stanicích a v daném období se tedy k vyšším hodnotám prokazatelněji posouvaly 10. percentily. Na podzim nebyly ani v jednom případě nalezeny trendy se statistickou významností. Trendy $T_{\min 10p}$ mají podobný sezonní charakter, jako tomu bylo u obou percentilů T_{\max} . Na jaře, v létě a v zimě byly trendy $T_{\min 10p}$ kladné, na podzim záporné. Tyto trendy měly ve všech obdobích statistickou významnost na velmi malém počtu stanic (v zimě dokonce na žádné stanici), a pokud se $T_{\min 10p}$ zvyšovaly, pak nejspíše v létě. Hodnoty $T_{\min 90p}$ převážně rostly ve všech sezónách. Nejvíce statisticky významných trendů bylo nalezeno v létě a v zimě (na 15 z 29 stanic). Na jaře byla nulová hypotéza vyvrácena na 11 stanicích a na podzim pouze na 3 stanicích. U 10. a 90. percentilů T_{\min} nebylo nalezeno tolik statisticky významných trendů a změny tedy nebyly tak výrazné jako u T_{\max} . Změny byly na jaře, v létě a v zimě výraznější u $T_{\min 90p}$, a v těchto ročních obdobích tedy došlo k protažení pravého konce rozdělení – oteplení je způsobeno spíše růstem teplých extrémů než úbytkem studených extrémů T_{\min} . Na podzim nedošlo v rozdělení k žádným výrazným změnám. (Chládová a Kalvová, 2005)

Chládová a Kalvová (2005) ve své studii uvádějí, že jejich výsledky jsou podobné, jako uvádí Klein Tank a Können (2003) pro celou Evropu, ale liší se od studie Brázdil et al. (1996), kde se uvádí, že růst T_{\min} je vyšší než T_{\max} . Brázdil et al. (1996) ale analyzovali dřívější období 1951–1990, které nezahrnuje poslední dekádu 20. století, kdy došlo k výraznému růstu T_{\max} .

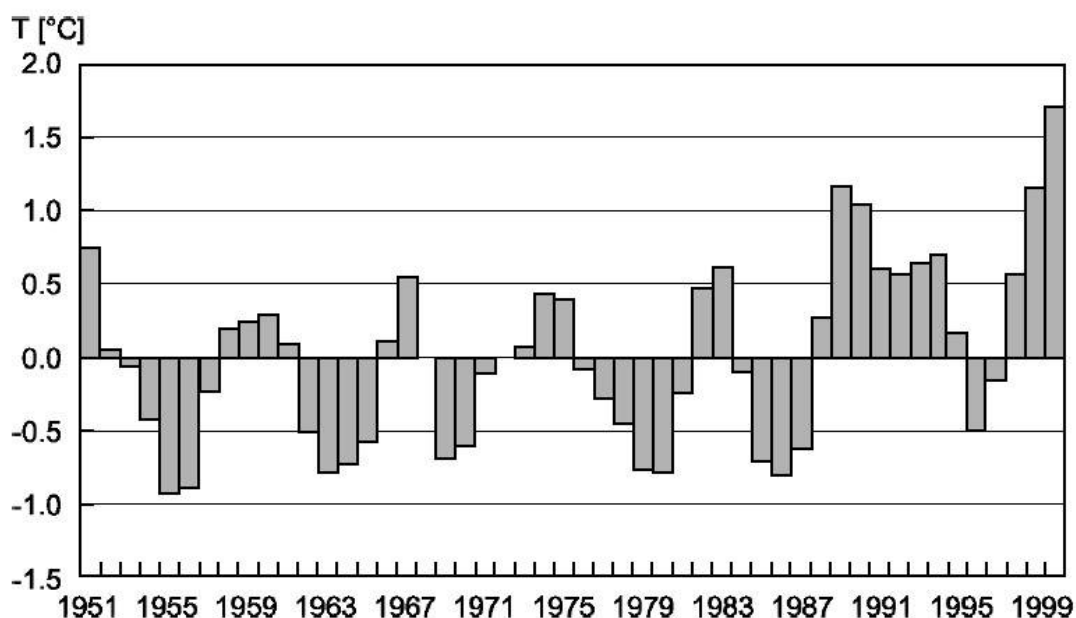
Moberg a Jones (2005) vybrali 6 stanic ležících v západní polovině střední Evropy (Frankfurt, Stuttgart, Potsdam, Bamberg, Jena, Zürich), které měly kompletní záznamy z let 1901–99, a na těchto stanicích sledovali také trendy 90. a 10. percentilů

T_{max} a T_{min} (T_{max90p} , T_{max10p} , T_{min90p} , T_{min10p}). Ve zmíněném období 1901–99 se zaměřili pouze na dvě roční období – zimu (prosinec, leden, únor) a léto (červen, červenec, srpen). Všechny čtyři teplotní ukazatele, které byly v obou ročních obdobích zkoumány, jsou uvedeny na obrázku 11. Můžeme zde vidět, že v zimě je shlazená křivka všech teplotních ukazatelů po roce 1990 nad hranicí průměru 20. století. V tomto ročním období je také zřetelná větší meziroční variabilita teplotních ukazatelů (zejména T_{max10p} a T_{min10p}) než u letních hodnot. Zajímavý je vývoj T_{max90p} v létě, kde v první polovině 20. století dochází k pozitivnímu trendu, na rozhraní 40. a 50. let dochází k poklesu a poté nastává opět růst až do konce 20. století. Naproti tomu u T_{max10p} dochází od 50. do 80. let k ochlazování, po kterém následuje mírné oteplování. Při korelaci 10. a 90. percentilů T_{max} a 10. a 90. percentilů T_{min} z obou ročních období se zjistilo, že korelační koeficienty nepřesahují hodnotu 0,61. Bylo tedy potvrzeno zjištění (Klein Tank a Können, 2003; Hegerl et al., 2004), že změny teplých a chladných chvostů rozdělení T_{max} a T_{min} mohou být velmi odlišné, a proto studie zaměřené na průměrné teploty nemusí zjistit významné změny, které se odehrávají na obou koncích teplotního rozdělení. (Moberg a Jones, 2005)



Obr. 11, Teplotní ukazatele šesti stanic střední Evropy za období 1901–99. Šedé křivky značí data z jednotlivých stanic. Úzká černá křivka je aritmetickým průměrem všech stanic a tlustá černá křivka ukazuje variabilitu za období delší než jedna dekáda. Vodorovná čárkovaná linie ukazuje a)–d) zimní e)–h) letní průměr za období 1901–99. (Moberg a Jones, 2005)

Dále se podíváme na trendy teplotních ukazatelů v Polsku. Na obrázku 12 jsou průměrné roční teploty z polských stanic v období 1951–2000. V druhé polovině tohoto období dochází ke zvýšení tempa růstu průměrné teploty a její trend za posledních 25 let dosáhl statisticky významné hodnoty $+0,06\text{ }^{\circ}\text{C/rok}$. (Degirmendžić et al., 2004)

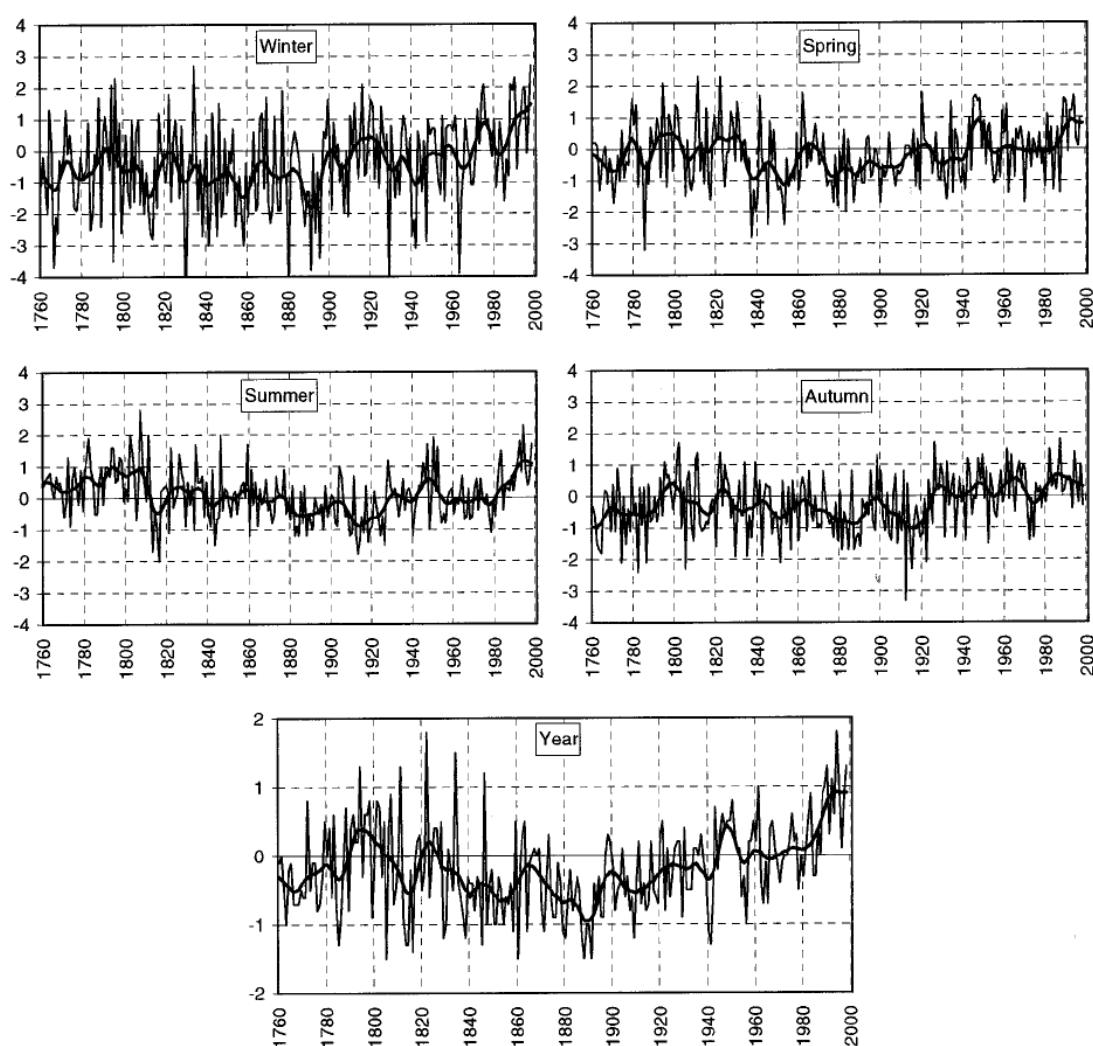


Obr. 12, Průměrné roční teploty v Polsku v období 1951–2000 (odchylky od průměrné teploty v letech 1951–1980). *Hodnoty jsou vyhlazeny tříbodovým binomickým filtrem.* (Kozuchowski a Żmudzka, 2001 in Degirmendžić et al., 2004)

Výsledky dalších teplotních ukazatelů ve 2. polovině 20. století (1951–1998) v Polsku uvádí Wibig a Głowicki (2002). Na všech pozorovaných polských stanicích byl zaznamenán stoupající trend T_{\max} i T_{\min} . Růst T_{\min} byl ale větší, a proto došlo ke snížení DTR. Při rozboru trendů T_{\max} a T_{\min} za jednotlivá období zjistíme, že na jaře a v zimě jsou všechny trendy kladné a statisticky významné. Na podzim jsou trendy T_{\max} také významné, ale v tomto případě záporné a trendy T_{\min} nejsou v této roční době významné. V létě jsou trendy obou ukazatelů na většině stanic nevýznamné. DTR klesala v zimě, ale zejména na podzim, kdy jsou trendy na všech stanicích významné.

Böhm et al. (2001) popisuje teplotní proměnlivost v Alpách a jejich širokém okolí v období 1760–1998 a porovnává v této oblasti stanice s velmi rozdílnými nadmořskými výškami. Popisovat zde ale budu zejména období 2. poloviny 20. století, protože předchozí období není pro tuto práci příliš důležité.

Vývoj sezónní a roční průměrné teploty v alpském regionu je uveden na obrázku 13. Na přelomu 40. a 50. let 20. století můžeme vidět na grafu pro jaro, léto a celý rok lokální maximum, po kterém dochází nejprve ke stagnaci a od začátku 80. let k razantnímu nárůstu teploty. V zimě jsou odchylky od průměru 20. století nejvyšší, přičemž od 80. let teplota stoupala ještě výrazněji než na jaře nebo v létě. Vývoj průměrné teploty v 2. polovině 20. století se na podzim od ostatních sezón liší, protože stále kolísá kolem průměru 20. století a zhruba od poloviny 80. let klesá. Na obrázku 13 můžeme vidět, že roční průměrné teploty v 90. letech minulého století dosahují absolutního maxima za celé pozorované období 1760–1998. (Böhm et al., 2001)



Obr. 13, Sezónní a roční průměrná teplota v alpském regionu v období 1760–1998. Na ose y jsou odchylky ve stupních Celsia od průměrné teploty 20. století. Tlustá černá čára zobrazuje vyhlazený průběh teplot (Böhm, et al., 2001)

Auer et al. (2007), kteří se také jako Böhm et al. (2001) zabývali Alpami a jejich širokým okolím, při porovnání s vývojem průměrné roční teploty na severní polokouli zjistili, že od 80. let průměrná roční teplota v alpském regionu stoupala dvakrát rychleji než na severní polokouli.

V Sasku byly vypočítány trendy průměrné teploty za období 1951–2000. Trendy jsou ve všech obdobích kladné, kromě podzimu, jehož vývoj je i zde značně odlišný od ostatních období. Zatímco v zimních měsících, kdy nastalo v druhé polovině 20. století oteplení mezi 1,4 až 2,4 °C, byl trend průměrné teploty nejvyšší a statisticky významný na hladině 5 %, na podzim byl trend nevýznamný. Průměrná roční teplota se v období 1971–2000 zvýšila o 0,8 °C. (Franke et al., 2004)

Hundeche a Bárdossy (2005) vytvořili studii zaměřenou na západní Německo v období 1958–2001, kde se zabývali teplotními a srážkovými extrémů. V tabulce 1 jsou uvedeny změny teplotních ukazatelů mírných klimatických extrémů za toto období, kde můžeme vidět výrazně odlišné podzimní trendy oproti ostatním ročním obdobím. Nárůst 90. percentilu maximální teploty (Tmax90p) a 10. percentilu minimální teploty (Tmin10p) je nejvyšší v zimě (2,71 °C; respektive 2,1 °C) a na podzim je zaznamenán pokles (-1,21 °C; respektive -0,13 °C). Se zvýšením Tmin10p souvisí také pokles mrazových dnů a zvýšení Tmax90p odpovídá prodloužení doby trvání horkých vln, která se ale trochu překvapivě prodlužuje i na podzim. Musím zde upozornit, že horké vlny (HWDI) jsou zde definovány jinak než obvykle (viz poznámka k tabulce 1).

Index	Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual
Tmax90p (°C)	2.71	1.72	1.4	-1.21	0.65
Tmin10p (°C)	2.1	1.42	1.12	-0.13	0.99
FD (days)	-7.7	-5.9	-	-	-14.7
HWDI (days)	4.39	4.13	4.69	3.05	15.35

Tab. 1, Změny teplotních ukazatelů mírných klimatických extrémů za období 1958–2001. Pozn.: HWDI je index, který popisuje počet po sobě jdoucích dnů v daném ročním období, pro které denní maximální teplota přesáhne dlouhodobý 90. percentil denní maximální teploty daného kalendářního dne, vypočítaný jako pětidenní průměr. (Hundeche a Bárdossy, 2005)

Již jsem se zmiňoval o studii Wibig a Głowicki (2002), kde autoři zjistili nárůst Tmax a Tmin v Polsku v období 1951–1998. Kvůli nárůstu teplot došlo k poklesu počtu

mrazových dnů s největším úbytkem na stanici ve městě Hel na pobřeží Baltského moře (6 dní za 10 let). Pokles v počtu mrazových dnů byl na všech stanicích statisticky významný na hladině 5 nebo 10 %, s výjimkou Zakopaného. Největší pokles počtu mrazových dnů byl zaznamenán v zimě. Na horských stanicích (Sněžka a Zakopané) byl pokles počtu mrazových dnů v zimě nejmenší, což souvisí s tím, že na těchto stanicích jsou v tomto období téměř všechny dny s minimální teplotou pod 0 °C. Na jaře počet mrazových dnů klesá také, ale na podzim je trend na většině stanic opačný, i když statisticky nevýznamný. (Wibig a Głowicki, 2002)

Miętus a Filipiak (2004) zkoumali četnost a trvání horkých a studených vln v období 1951-98 na stanicích v Gdaňské zátocě na severu Polska. Definice horkých a studených vln není ve všech studiích jednotná. V tomto případě je horkou vlnou míněno období nejméně pěti po sobě jdoucích dnů, během kterých je denní maximální teplota vyšší než dlouhodobá průměrná denní maximální teplota nejméně o hodnotu jedné standardní odchylky, vypočítaná pro příslušný den v roce. Studená vlna je zde definována podobně – období nejméně pěti po sobě jdoucích dnů, během kterých denní minimální teplota je nižší než dlouhodobá průměrná denní minimální teplota nejméně o hodnotu jedné standardní odchylky, vypočítaná pro příslušný den v roce. Autoři zjistili, že se v této oblasti u horkých vln jejich četnost a trvání zvyšuje a u studených vln je tomu přesně naopak. Výraznější změny se ale odehrály v chladné části roku (září–únor), což je zřejmě výsledek silného oteplování v zimě v této části Evropy.

3. Srážky

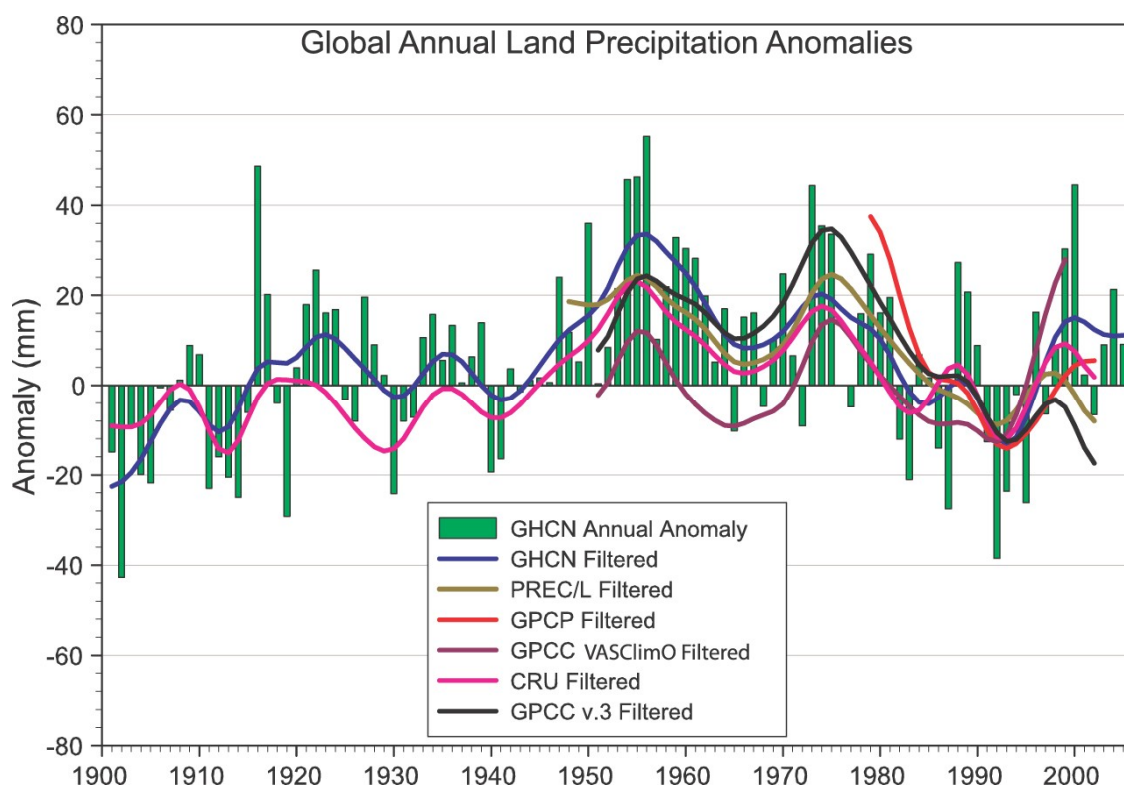
Změny pozorujeme také u srážek a rozlišujeme několik jejich vlastností – úhrn srážek, intenzitu, četnost nebo druh (skupenství). Druh srážek závisí zejména na teplotě a stavu počasí. Pokud teplota stoupá, roste i pravděpodobnost výskytu srážek dešťových oproti srážkám sněhovým. Změna druhu srážek se odehrává v obdobích, kdy se teplota pohybuje kolem bodu mrazu. V nižších zeměpisných šířkách je to tedy v zimním období, zatímco ve středních a vyšších šířkách jsou to přechodná období (jaro a podzim). Takovéto změny vedou k úbytku sněhové pokrývky, zkrácení doby jejího trvání a také ke snížení plošného rozsahu sněhové pokrývky, která je důležitou zásobárnou vody pro letní období. Při měření srážek může nastat problém s rozdílnou úspěšností zachycení dešťových a sněhových srážek, a proto některé výsledky nemůžeme brát jako stoprocentní. (IPCC, 2007)

Srážkové ukazatele založené na percentilových prazích jsou vypočítávány pouze ze srážkových dnů (denní úhrn srážek ≥ 1 mm). Pokud se počítají pouze pro jednotlivá roční období, může se stát, že jsou tyto ukazatele založeny na velmi malém množství hodnot, což způsobuje nejistotu odhadů. Tomuto problému se dá vyhnout zvolením delších období, což ale někdy není možné. (Moberg a Jones, 2005)

Nyní opět nejprve uvedu změny ve srážkových ukazatelích v globálním a evropském měřítku a poté bude následovat podrobnější popis změn ve střední Evropě

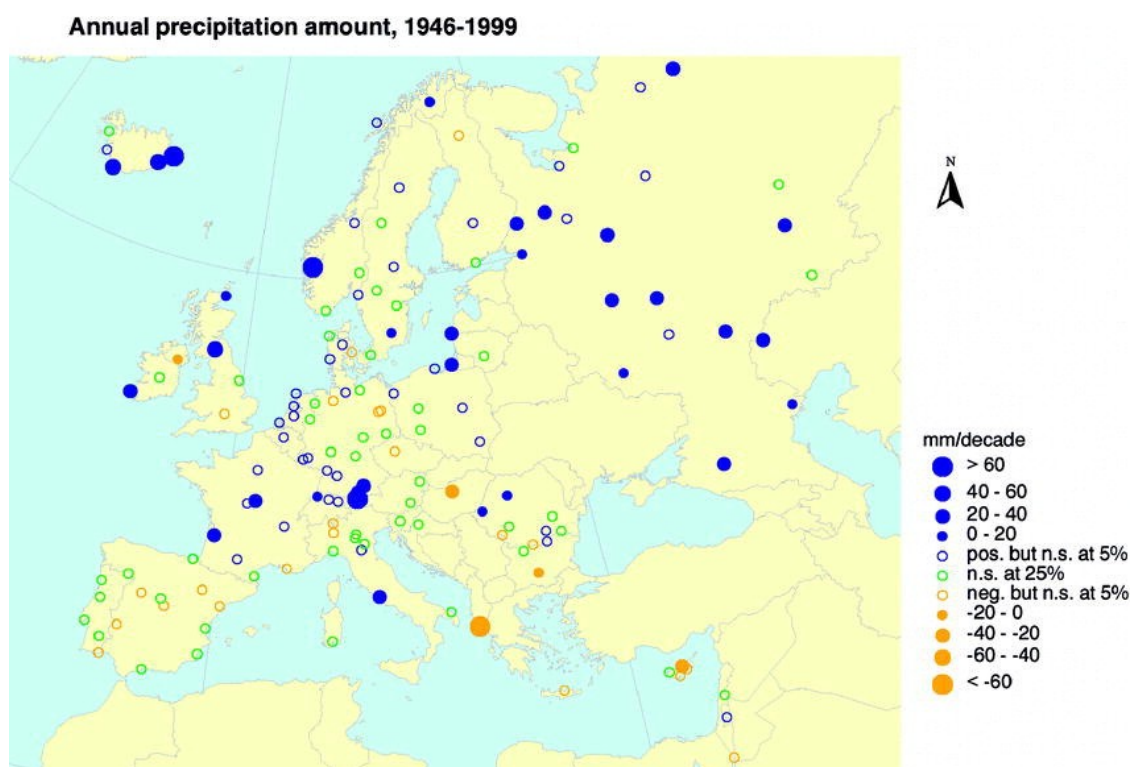
3.1 Změny srážkových ukazatelů v globálním a evropském měřítku

Trend globálních ročních úhrnů srážek nad pevninou byl v IPCC (2007) analyzován pro období 1900–2005 a to pomocí dat z Globální historické klimatologické sítě (GHCN). Trend za toto období byl statisticky nevýznamný ($1,08 \pm 1,87$ mm/10 let), ale pokud se podíváme na obrázek 14, tak můžeme vidět, že se trend srážkových úhrnů značně měnil. Úhrny srážek totiž od roku 1900 do 50. let 20. století stoupaly, dále do začátku 90. let klesaly a poté zaznamenaly opět nárůst. Na obrázku je shlazený desetiletý trend GHCN a dále několik dalších trendů, které ale nejsou až tak podstatné.



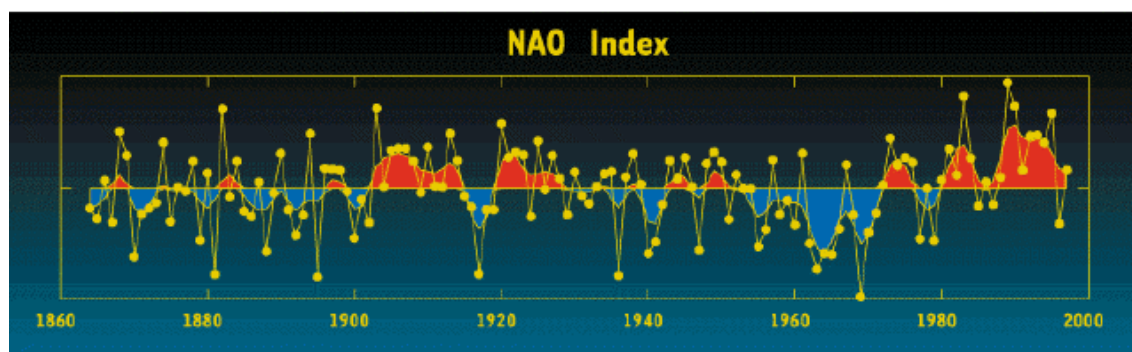
Obr. 14, Globální roční odchylky srážek od standardního období 1981–2000 z dat GHCN pro období 1900–2005. Shlazené čáry ukazují desetileté změny pro GHCN (Peterson a Vose, 1997 in IPCC, 2007) a další databáze, které ale pro nás zde nejsou důležité. (IPCC, 2007)

Studie Klein Tank a Können (2003) se zabývá změnami v úhrnech a intenzitě srážek v Evropě v období 1946–99. Na obrázku 15 jsou trendy srážkových úhrnů v tomto období. Jasně zde převažují nevýznamné trendy. Pokud se zaměříme pouze na významné trendy, na většině území Evropy najdeme zvyšování úhrnů srážek. Záporné trendy jsou pouze v Maďarsku, na Balkánském poloostrově, Severním Irsku a Kypru.



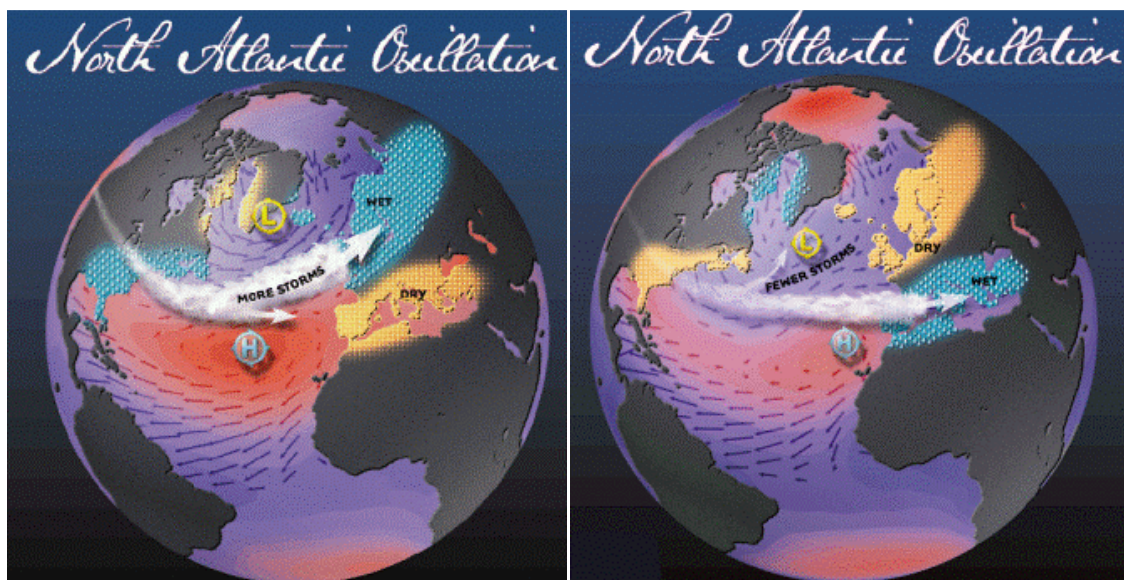
Obr. 15, Trendy ročních úhrnů srážek za období 1946–99. Velikost teček odpovídá velikosti trendů. Modré tečky značí zvyšování úhrnu srážek [mm/10 let] oranžové tečky snižování úhrnu srážek [mm/10 let]. Malé tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 % (respektive 25 %). (Klein Tank a Können, 2003)

Takovéto rozložení úhrnů srážek, které je na obrázku 15, by mohlo být do jisté míry způsobeno rostoucím trendem indexu Severoatlantické oscilace (NAOI) v 2. polovině 20. století. Vývoj NAOI je zobrazen na obrázku 16. Vliv pozitivního a negativního indexu severoatlantické oscilace je potom na obrázku 17.



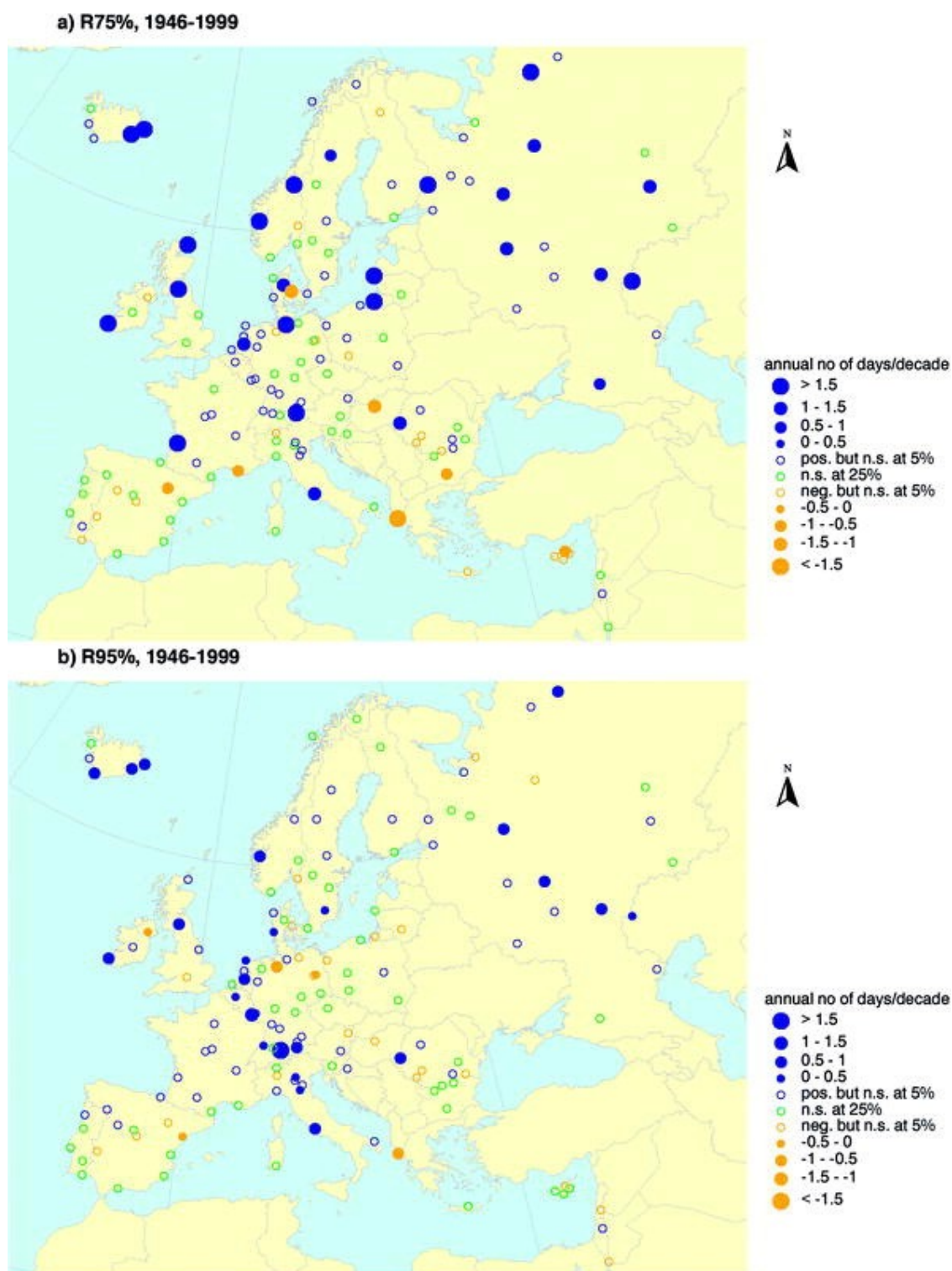
Obr. 16, Vývoj indexu Severoatlantické oscilace. Červenou barvou je označen pozitivní NAOI a modrou barvou negativní NAOI. (Bell, 200–)

Pozitivní NAOI způsobuje silná azorská tlaková výše a prohloubená islandská tlaková níže. Tlakový rozdíl mezi oběma tlakovými poli se zvyšuje, což zintenzivňuje západní proudění a posouvá dráhy cyklón více na sever (Beranová, 2007). Výsledný efekt je tedy takový, že v severní části Evropy jsou zimy teplejší a vlhčí, kdežto v jižní Evropě je srážek méně. (Bell, 200–)



Obr. 17, Kladný index Severoatlantické oscilace (vlevo) a záporný index Severoatlantické oscilace (vpravo). (Bell, 200–)

V Evropě za období 1946–99 stoupla intenzita srážek, což je doloženo převažujícími pozitivními trendy středně deštivých (R75%) a silně deštivých dnů (R95%) (obr. 18). Tyto srážkové ukazatele jsou založeny na percentilových prahových hodnotách a vyjadřují počet dní se srážkovými úhrny většími než 75. a 95. percentil ve dny s úhrnem srážek 1mm nebo vyšším ve standardním období 1961–90. Zvyšování intenzity srážek neplatí pro jižní Evropu, kde u ukazatele R75% najdeme převážně nevýznamné, popř. spíše klesající trendy. Trendy středně a silně deštivých dnů zároveň souvisejí s ročními úhrny srážek za toto období. (Klein Tank a Können, 2003)



Obr. 18, Trendy ročního počtu a) středně deštivých dnů R75% a b) silně deštivých dnů R95% za období 1946–99. Velikost teček odpovídá velikosti trendů za 10 let. Modré tečky značí trendy zvyšování ročního počtu dní R75%, resp. R95% a oranžové tečky značí trendy snižování ročního počtu dní R75%, resp. R95%. Malé tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 % (respektive 25 %). (Klein Tank a Können, 2003)

U ukazatelů srážek Klein Tank a Können (2003) našli méně stanic s významností na úrovni 5 %, než tomu bylo u teplotních ukazatelů. Jihovýchodní Evropa se opět liší od zbytku Evropy, stejně jako tomu bylo u teploty. V jihovýchodní Evropě se objevují jak u intenzity, tak i u úhrnů srážek nevýznamné nebo spíše klesající trendy, kdežto v ostatních částech Evropy jsou trendy nevýznamné nebo kladné. Je také zajímavé, že srážkové ukazatele intenzity i úhrnů srážek mají velké rozdíly trendů mezi poměrně blízko ležícími stanicemi.

3.2 Změny srážkových ukazatelů ve střední Evropě

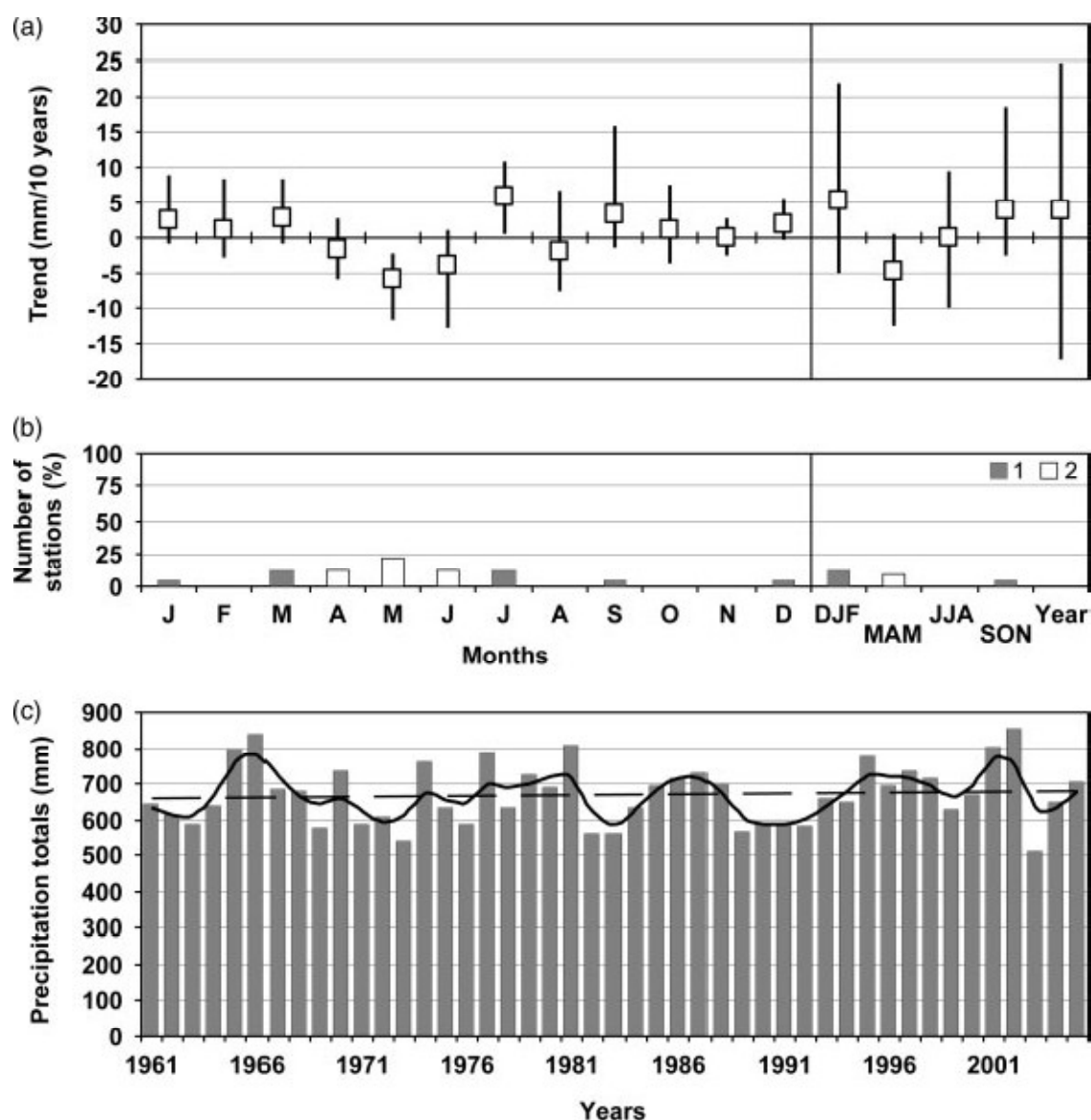
Změny srážkových ukazatelů ve střední Evropě za 2. polovinu 20. století většinou nejsou tak zřejmé jako u ukazatelů teplotních. Jak si ale dále ukážeme, trend srážek se v některých částech střední Evropy značně liší.

Jak jsme již mohli vidět u celoevropských úhrnů srážek na obrázku 15, ve střední Evropě jsou převážně nevýznamné trendy s výjimkou jižního Německa, kde jsou zejména kladné trendy a Maďarska, kde je trend naopak záporný. (Klein Tank a Können, 2003)

Na úhrny srážek v Maďarsku pro celé 20. století se zaměřili Domonkos a Tar (2003), kteří ho rozdělili na tři části (západní, severo-severovýchodní a jižní) a zjistili, že se úhrny srážek ve všech těchto částech opravdu snižují. Uvádí, že průměrně v celém Maďarsku dochází k úbytku ročních srážkových úhrnů o 92,9 mm/100 let. Ve všech měsících kromě května byla zjištěna záporná korelace mezi průměrnou měsíční hodnotou indexu Severoatlantické oscilace (NAOI) a úhrny srážek, což znamená, že zde NAOI působí podobným způsobem jako na Středomoří. Vzhledem k tomu, že NAOI v posledních desetiletích významně vzrostl, dá se očekávat, že měl vliv i na úbytek srážek v Maďarsku. Podobné úbytky srážek byly zaznamenány také na několika stanicích ve Středomoří.

V Polsku najdeme naopak pro období 1951–2000 sice statisticky nevýznamný, ale rostoucí trend úhrnů srážek (2,9 mm za 10 let). Trendy průměrných měsíčních úhrnů srážek za toto období nejsou příliš výrazné a jediný statisticky významný trend najdeme v březnu (2,7 mm za 10 let). V každém ročním období se objevují kladné i záporné měsíční trendy. Největšího poklesu ale dosahují srážkové úhrny v červenci a srpnu. (Degirmendžić et al., 2004)

A ani trendy sezónních úhrnů srážek v České republice, které zkoumal Brázdil et al. (2009) nebyly v období 1961–2005 příliš výrazné (± 5 mm/10 let) a statistická významnost nebyla na většině stanic prokázána (obr. 19). Průměrné podzimní, zimní a roční úhrny srážek zaznamenaly rostoucí trend, letní úhrny zůstaly nezměněné, ale jarní úhrny srážek poklesly. Na obrázku 19 můžeme také pozorovat změny ročních úhrnů srážek za období 1961–2005. Zde je pozoruhodný zejména skok mezi nejvlhčím rokem (2002) a nejsušším rokem (2003) za celé sledované období. Úhrny a četnost srážek v České republice byly zkoumány také ve studii Moliba et al. (2006), v tomto případě v kratších 60denních průměrech, které mohou lépe odhalit, kdy dochází k růstu nebo úbytku srážek. Od konce března do začátku června byl zjištěn největší úbytek četnosti i množství srážek, což se shoduje se studií Brázdil et al. (2009). Přibližně od poloviny února do poloviny dubna se nejvíce zvyšuje četnost srážek. Úhrny srážek se ale nezvyšují, což znamená, že v tomto období v České republice dochází k poklesu intenzity srážek.

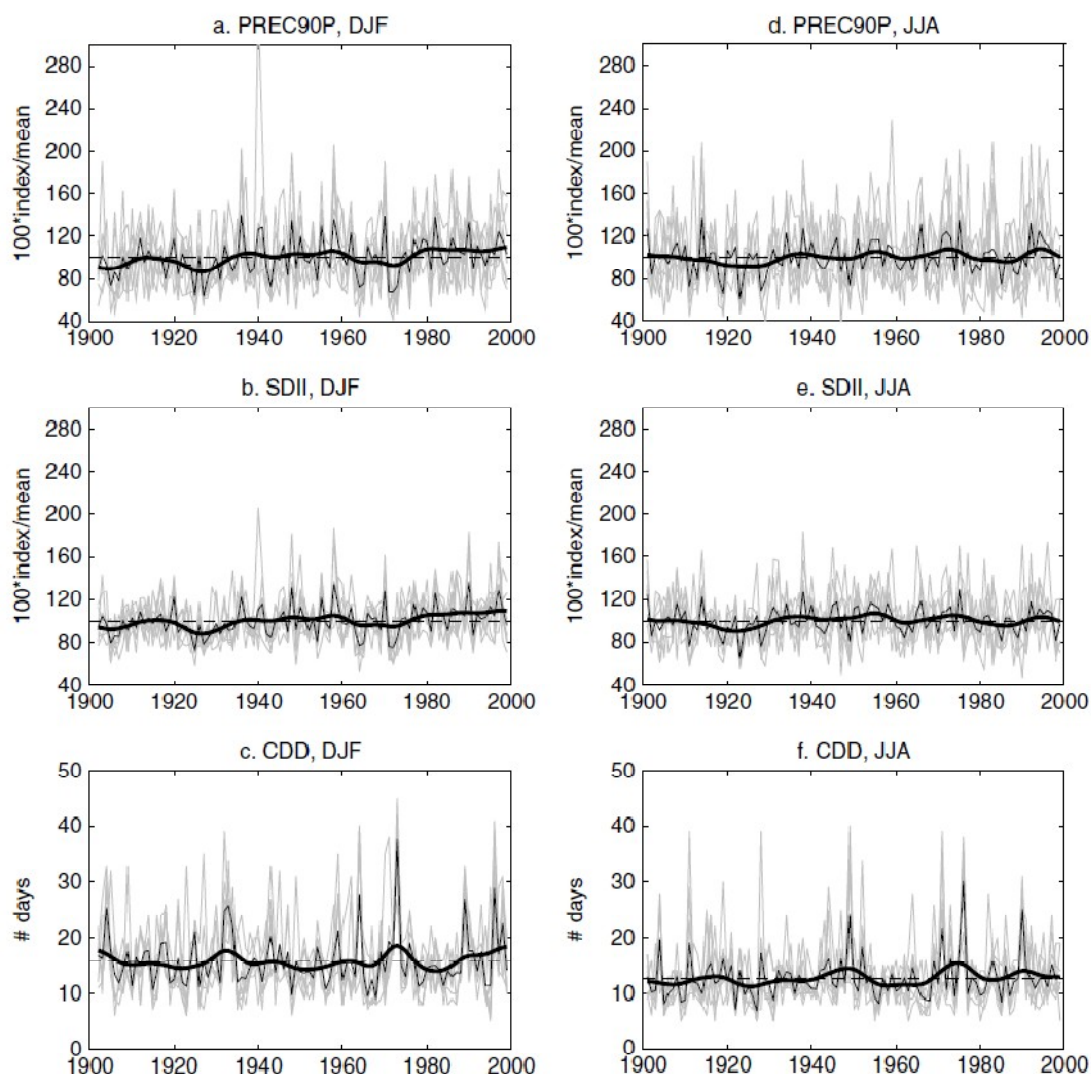


Obr. 19, a) Maximální a průměrné hodnoty lineárních trendů srážkových úhrnů (mm/10 let) na 23 klimatologických stanicích ČR v období 1961–2005 pro měsíce, roční období a rok; b) procentuální podíl počtu stanic, na kterých byly trendy (1 – kladné, 2 – záporné) statisticky významné; c) změny průměrných ročních úhrnů srážek (mm) v ČR v období 1961–2005. Černá spojitá čára značí 5letý shladený průměr; přerušovaná čára znázorňuje lineární trend. (Brázdil et al., 2009)

Srážkové úhrny v Sasku ve 2. polovině 20. století měly stejně jako v České republice nebo Polsku v jednotlivých ročních obdobích rozdílné trendy. Zatímco v létě srážkových úhrnů spíše ubývá (v severní části Saska pokles až o 40 %), na podzim a v zimě zejména v nižších polohách převažuje vzestupný trend srážek (až 20 % nárůst srážek v zimě během sledovaného období). V létě se začínají více objevovat sucha a

stoupá i jejich trvání. Stejně tak se ale v posledních třech dekáдах 20. století výrazně zvýšil počet silných dešťů (>20 mm/den), což koresponduje s globální klimatickou změnou a dochází tak k extrémnějším stavům počasí. (Franke et al., 2004)

Moberg a Jones (2005) si podobně jako u měření teploty vybrali několik stanic ze západní poloviny střední Evropy s kompletními srážkovými daty v období 1901–99. Srážky zde byly zkoumány z pohledu šesti ukazatelů (PREC90P, R5D, R90N, R90T, SDII a CDD). Všechny tyto ukazatele kromě maximálního počtu po sobě jdoucích dnů bez srážek (CDD) v zimě vykazují velmi podobné roční trendy. Na obrázku 20 proto můžeme vidět jen některé z nich. Tento velmi podobný vývoj pěti srážkových ukazatelů dokládají vysoké korelační koeficienty, které se pohybují mezi 0,78 a 0,95. V letním období nebyly nalezeny žádné významné trendy. Na obrázku 20 můžeme vidět, že letní srážkové ukazatele stále kolísají kolem průměru 20. století. Korelační koeficienty těchto pěti srážkových ukazatelů jsou v létě o něco nižší než v zimě, ale jsou stále vysoké. U CDD nebyl ve 20. století zaznamenán výrazný kladný ani záporný trend. Korelační koeficienty (od -0,19 do -0,45) ukazují, že CDD je od ostatních ukazatelů značně odlišný.



Obr. 20, Srážkové ukazatele osmi stanic střední Evropy za období 1901–99. Šedé křivky značí data z jednotlivých stanic. Úzká černá křivka je aritmetickým průměrem všech stanic a tlustá černá křivka ukazuje variabilitu za období delší než jedna dekáda. Vodorovná čárkovaná linie ukazuje a)–c) zimní d)–f) letní průměr za období 1901–99. (Moberg a Jones, 2005)

V západním Německu byly analyzovány změny stejných extrémních srážkových ukazatelů jako v předchozí studii Moberg a Jones (2005), ale v tomto případě v letech 1958–2001 a pro jednotlivá roční období (Hundecca a Bárdossy, 2005). Srážkové ukazatele vztažené k intenzitě srážek vykázaly nejvyšší nárůst v zimě. Na jaře a na podzim se intenzita srážek zvýšila také, ale již ne tak výrazně jako v zimě, a v létě intenzita srážek klesla. Průměrné procentuální změny všech zkoumaných extrémních srážkových ukazatelů jsou v tabulce 2. Například srážkový ukazatel PREC90P se nejvíce zvýšil v zimě (o 20,7 %). Na jaře a na podzim se zvýšil také, ale již ne tak

výrazně jako v zimě, a v létě dokonce intenzita srážek klesla (o 6,4 %). Velice podobné změny jsou také u SDII, ale i pro další ukazatele (kromě CDD) platí, že v zimě jsou změny nejvyšší a v létě jsou nejnižší – záporné. Ukazatel CDD se chová odlišně, což už bylo zmíněno u studie Moberg a Jones (2005). Tento ukazatel klesal v zimě, ale také na podzim, kdy byl klesající trend ještě výraznější. Na jaře a v létě naopak stoupal. (Hundecha a Bárdossy, 2005)

Index	Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual
Prec90p	20.7	6.6	−6.4	8.1	4.2
CDD	−9.9	5.4	15.0	−24.7	−13.3
5D-total	37.5	10.0	−11.3	11.9	8.1
SDII	21.8	5.0	−6.6	5.1	3.8
$P > 90p$	47.0	16.1	−9.1	12.7	5.8
$N > 90p$	55.7	24.9	−20.8	54.6	13.7

Tab. 2, Průměrné procentuální změny denních extrémních srážkových ukazatelů v období 1958–2001. (Hundecha a Bárdossy, 2005)

Mnoho statisticky významných kladných trendů ukazatelů extrémních srážek vycházelo na stanicích, které jsou ve vyšších nadmořských výškách, což vedlo k pochybnostem, zda v těchto polohách opravdu srážek přibývalo nebo jestli nedocházelo při současném zvyšování teploty k přesnějšímu měření srážek. Při nižších teplotách se totiž častěji vyskytují sněhové srážky, jejichž hodnoty jsou běžnými srážkoměry zaznamenávány nepřesně a spíše jsou podhodnocovány. Při postupném zvyšování teploty tedy mohlo docházet k nárůstu podílu srážek dešťových a k lepšímu měření a zvýšení zachycených srážek. Kladný trend ve zvyšování počtu deštivých dní s teplotou nad 0°C nebyl jasně prokázán, nicméně poměr sněhových k dešťovým srážkám se na mnoha stanicích snížil. (Hundecha a Bárdossy, 2005)

4. Další veličiny a jejich souvislost s teplotou a srážkami

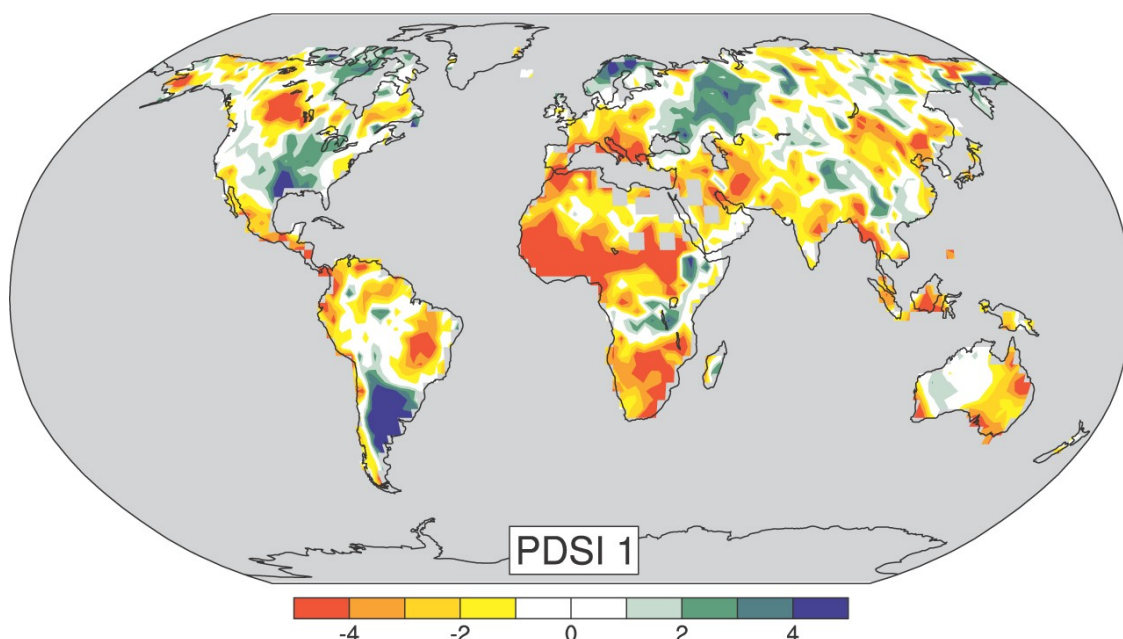
V této kapitole budou popsány některé globální, ale zejména střeoevropské změny dalších veličin, jakými jsou například oblačnost, sněhová pokrývka, vítr, tlak vzduchu atd. a také souvislosti těchto dalších veličin s teplotou a srážkami, protože některé veličiny se ovlivňují navzájem (např. denní teplotní amplituda a oblačnost).

Většina studií je zaměřena na teplotu a srážky a studií, které zkoumají ostatní veličiny, je velmi málo. Ze studií s více proměnnými ale dostáváme komplexnější výsledky, díky kterým můžeme lépe vysvětlit pozorované změny (Huth a Pokorná, 2005). V této kapitole nejsou popsány změny v evropském měřítku, protože takto zaměřených studií je opravdu málo a uvést zde jen příklad změn jedné veličiny by dle mého názoru nemělo význam.

4.1 Změny dalších veličin v globálním měřítku

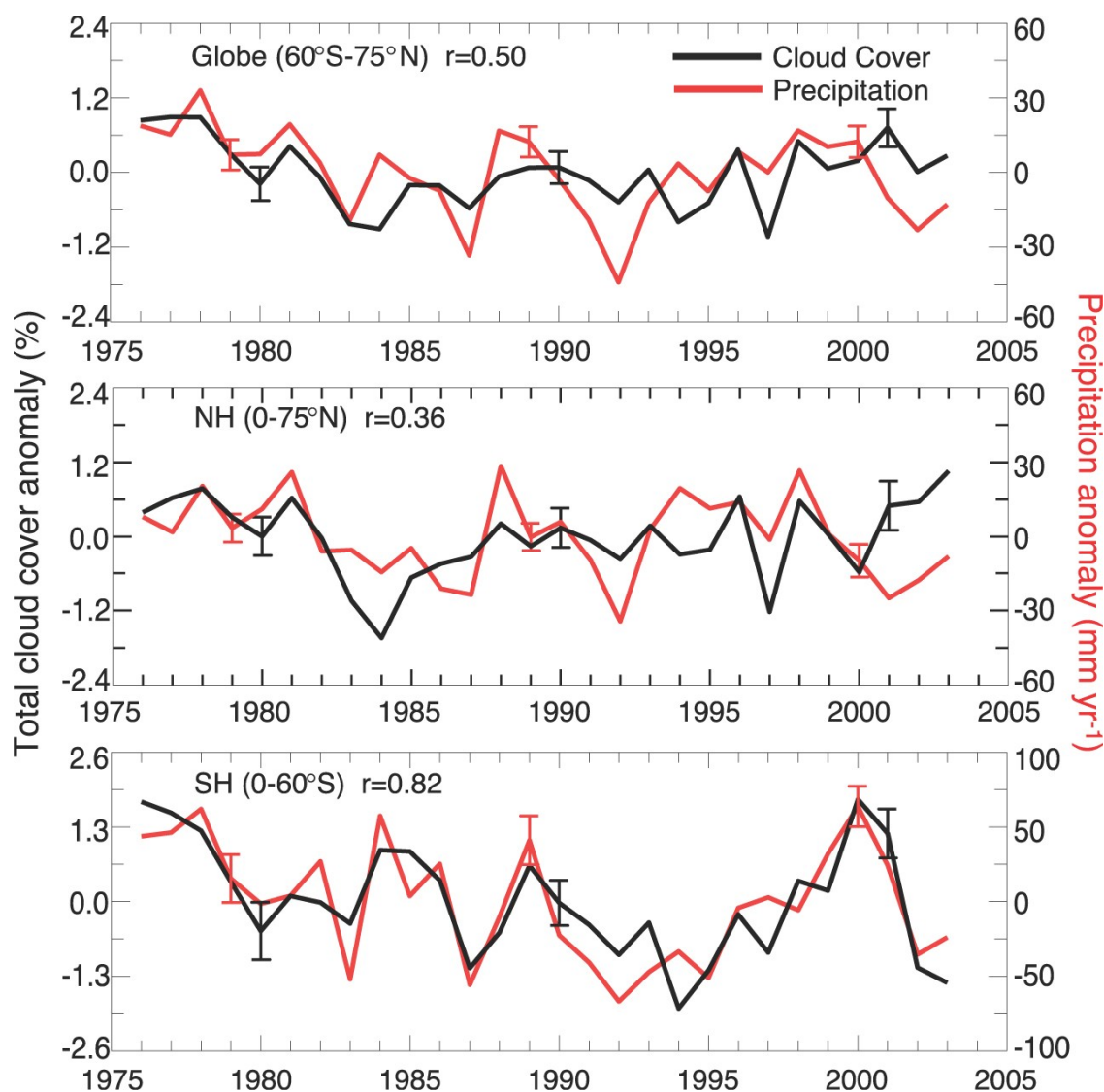
V globálním a evropském měřítku se změny dalších veličin příliš nepozorují, a proto zde uvedu jen pár příkladů. Jako první bych zmínil PDSI (Palmer Drought Severity Index), kterým se měří kumulativní vláhový deficit. I když by se mohlo na první pohled zdát, že by se PDSI měl spíše zařadit do předchozí kapitoly (srážky), uvádím ho až zde, protože k výpočtům PDSI se využívají nejen srážkové údaje, ale hodnota tohoto indexu záleží také na evapotranspiraci (výparu), druhu půdy a dalších parametrech (Litschmann et al., 200–). PDSI tedy závisí také na teplotě, jejíž nárůst přispěl ke zrychlení vysoušení pevniny a zvýšení výskytu a intenzity sucha v některých oblastech (obr. 21). Například v oblasti Sahelu, v jižní Africe nebo Středomoří můžeme vidět záporné změny PDSI, které značí vysoušení těchto oblastí. Naopak v Patagonii nebo v severní Evropě jsou kladné změny PDSI a tyto oblasti se stávají vlhčími. Kvůli oteplování se zrychluje vysoušení zemského povrchu a zvyšuje se výskyt a intenzita sucha, ale také dochází ke zvětšování množství vodní páry, které vede k intenzivnějším srážkám. Oteplení tedy vede k intenzifikaci hydrologického cyklu a teplejší klima zvyšuje riziko období sucha, ale zároveň i povodní. Jako příklad si

můžeme uvést léto roku 2002, kdy v Evropě došlo k velkým povodním, ale hned o rok později došlo k rekordním horkým vlnám a období sucha. (IPCC, 2007)



Obr. 21, Změna Palmer drought severity indexu (PDSI) za období 1900–2002. V horní části obrázku jsou uvedeny nejdůležitější prostorové struktury Palmer drought severity index (PDSI). Žlutá, oranžová a červená barva znamená, že daná oblast se stává sušší a zelená a modrá barva označuje oblasti, které se stávají vlhčími. (IPCC, 2007)

Pozorování v globálním měřítku také objevila na velké části pevniny zvyšování množství oblačnosti od poloviny minulého století, což souvisí s rostoucím trendem srážek a snižováním DTR (Dai et al., 2006 in IPCC, 2007). V některých oblastech bylo zjištěno i snižování množství oblačnosti jako například v Číně (Kaiser, 1998 in IPCC, 2007), Itálii (Maugeri et al., 2001 in IPCC, 2007) nebo také ve střední Evropě (Auer et al., 2007 in IPCC, 2007). Na obrázku 22 můžeme vidět porovnání vývoje srážek a oblačnosti nad pevninou za období 1976–2003 a také korelační koeficienty mezi těmito dvěma veličinami. Vysoký korelační koeficient můžeme vidět u jižní polokoule, ale na severní polokouli je koeficient poměrně nízký a zvýšení množství srážek tedy příliš nesouvisí se zvýšením množství oblačnosti. Je nutné podotknout, že měření ze Severní Ameriky zde nejsou zařazené, protože v USA a Kanadě se v devadesátých letech změnil způsob měření oblačnosti a nebylo by vhodné výsledky z těchto odlišných měření porovnávat. (IPCC, 2007)



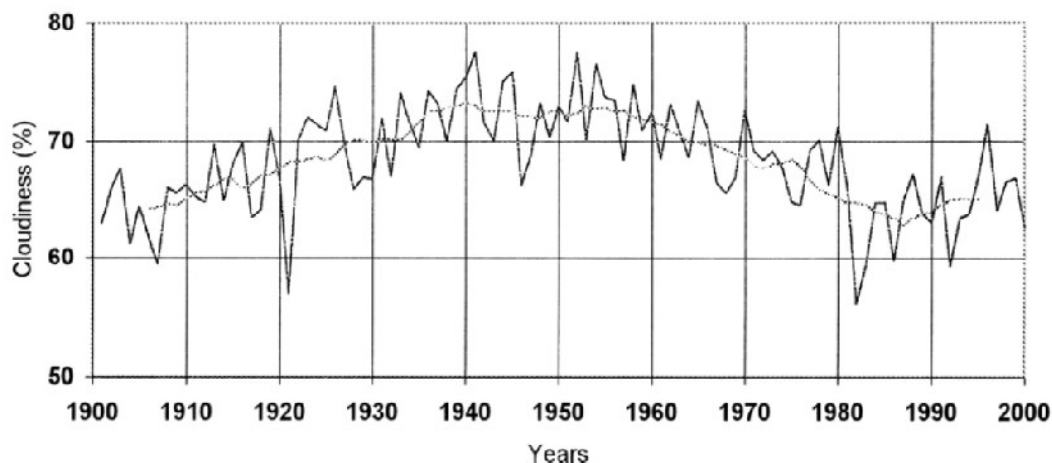
Obr. 22, Roční odchylky množství oblačnosti (černá) a srážek (červená) v období 1976–2003. Grafy se týkají odchylek globálních (60°j.š.–75°s.š.) a odchylek pro severní a jižní polokouli. Na levé ose jsou odchylky oblačnosti [%] a na pravé ose jsou odchylky srážek [mm/rok]. U každého grafu je vlevo nahoře uveden korelační koeficient mezi danými veličinami. (IPCC, 2007)

Dai et al. (1999) porovnávali vliv oblačnosti, půdní vlhkosti, srážek a vodní páry na denní teplotní amplitudu (DTR). Znovu připomenou, že DTR během let 1950–1990 ve většině oblastí světa klesala, a to zejména v důsledku rychlejšího růstu T_{min} oproti T_{max} (Karl et al., 1993). Podle autorů tohoto článku je oblačnost spolu s dalšími sekundárními vlivy půdní vlhkosti a srážek schopna na velké části povrchu Země snížit denní teplotní amplitudu o 25–50 % v porovnání s dny bez oblačnosti. Oblaky totiž odrážejí část slunečního záření, a tím snižují T_{max} , a naopak vyzařují dlouhovlnné

záření k Zemi, čímž zvyšují T_{min} . Bylo také zjištěno, že oblaky s nízkými základnami ovlivňují snižování T_{max} a DTR více než oblaky se základnami ve středních a vysokých výškách, a to zejména proto, že jsou obvykle opticky tenčí než oblaky s nízkými základnami.

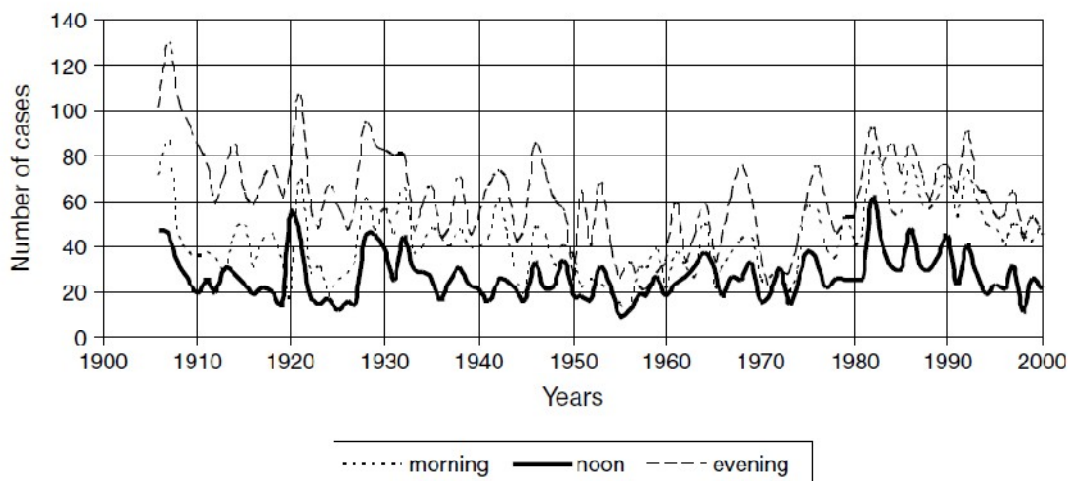
4.2 Střední Evropa

Matuszko (2003) zkoumala oblačnost v Krakově ve 20. století (1906–2000). I když se zdá být tato studie velice lokálně zaměřená (pracuje s daty pouze jedné stanice), podle Obrębska-Starkel (1993) in Matuszko (2003) je Krakov reprezentativním místem pro celé Polsko, a dokonce i střední Evropu. V práci Brázdil et al. (1996) jsou trendy množství oblačnosti za jednotlivé státy střední Evropy, ale místo průměrného množství oblačnosti v Polsku je zde také pouze Krakov. Při porovnání s ostatními zeměmi je trend množství oblačnosti v Krakově značně odlišný. Na Slovensku a v severním Chorvatsku byl sice zjištěn stejně jako v Krakově statisticky významný negativní trend množství oblačnosti, který ale nebyl tak výrazný; v ostatních částech střední Evropy byly nalezeny statisticky nevýznamné trendy. Z tohoto důvodu bych si dovilil mírně pochybovat o reprezentativnosti Krakovské stanice pro celou střední Evropu. Stanice je bohužel umístěna uprostřed Krakova, a tak mohou být data do jisté míry zkreslena vlivem rozvoje města v průběhu 20. století. Sledováno bylo množství oblačnosti, typ oblačnosti a počet dní bez oblačnosti. Oblačnost byla sledována ve 3 klimatologických termínech, které se ale v průběhu měření měnily. V období 1906–2000 bylo průměrné roční množství oblačnosti 68 %. Na obrázku 23 se můžeme podívat na vývoj množství oblačnosti v tomto období. Od 50. let 20. století byl sice zaznamenán úbytek, ale od poloviny 80. let došlo k mírnému zvýšení množství oblačnosti. (Matuszko, 2003)



Obr. 23, Průměrné roční množství oblačnosti (%) v Krakově v letech 1906–2000. *Prerušovaná čára znázorňuje desetiletý průměr.* (Matuszko, 2003)

Pokud se podíváme na graf s výskytem bezoblačné oblohy (obr. 24), tak zjistíme opačný vývoj oproti předešlému obrázku. To znamená, že v letech s vyšším množstvím oblačnosti (1941–60) byl zaznamenán nižší výskyt bezoblačné oblohy a naopak v letech s nižším množstvím oblačnosti (1961–2000) bylo těchto případů více. Z obrázku 24 je také zřejmé, že oblohu bez oblačnosti můžeme zaznamenat nejčastěji navečer, dále ráno a nejméně se bezoblačná obloha vyskytuje kolem poledne. Pokud bychom porovnali četnost bezoblačných situací v poslední dekádě 20. století s obdobím 1906–2000, tak k nejvyššímu nárůstu bezoblačných situací došlo v ranním termínu. To by mohlo znamenat snížení výskytu oblaku Stratus, který se vyskytuje zejména v ranních hodinách, a který byl v letech 1931–85 v Krakově nejčastěji zaznamenaným typem oblaku. Graf dnů bez oblačnosti by vypadal podobně jako graf na obrázku 24. Nejvyšší počet dnů bez oblačnosti bylo zaznamenáno v letech 1981–90, kdy jejich počet dosáhl průměrné hodnoty 18 dní v roce. Toto desetiletí je charakterizováno větším počtem anticyklonálních situací a zvýšenou frekvencí kontinentálních vzduchových hmot, které přispívají k bezoblačnému počasí. (Matuszko, 2003)



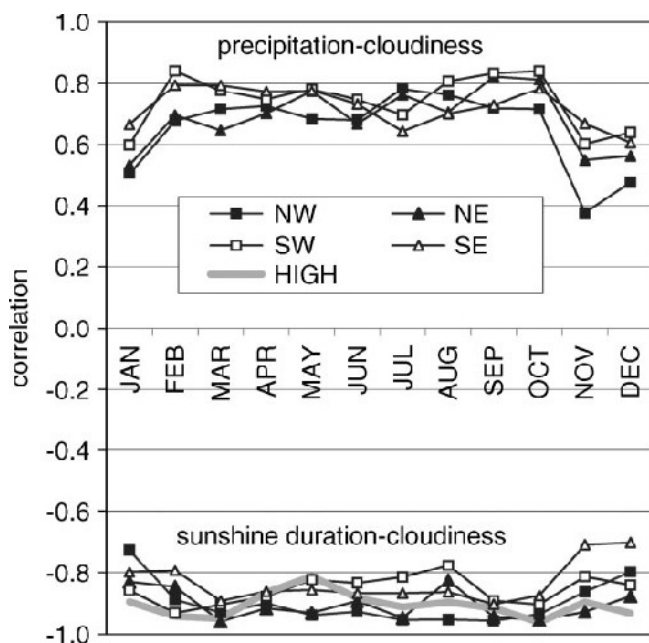
Obr. 24, Průměrná roční četnost výskytu bezoblačné oblohy v klimatologických termínech v Krakově v letech 1906–2000. (Matuszko, 2003)

Brázdil et al. (1996) porovnal pro období 1951–90 ve střední Evropě vztah oblačnosti s minimální a maximální teplotou pomocí korelačních koeficientů a zjistil, že oblačnost souvisí s T_{max} více než s T_{min} a to na jaře, v létě a také na podzim. Vyšší (záporné) korelační koeficienty u T_{max} v těchto ročních dobách naznačují větší vliv radičního než cirkulačního efektu, protože denní množství oblačnosti je obecně větší během dne než v noci. Nejvyšší korelační koeficienty (opět záporné) ale byly nalezeny mezi množstvím oblačnosti a denní teplotní amplitudou, což znamená, že při zvyšování množství oblačnosti se denní teplotní amplituda snižuje. V letech 1951–90 byl ve střední Evropě zjištěn nevýznamný trend DTR, který je pravděpodobně spojen s pouze malým snížením oblačnosti (1–6 %) v tomto období. DTR ale může být ovlivněna i dalšími veličinami jako je vlhkost, výpar, sněhová pokrývka, vítr atd. a je těžké odhadnout, čím přesně byla změna v DTR způsobena.

Podle Brázdila et al. (1996) patřila střední Evropa k oblastem s vysokými emisemi aerosolů z průmyslu, jejichž ochlazující efekt je srovnatelný nebo dokonce větší než oteplování skleníkovými plyny. Vliv těchto aerosolů na snižování denního oteplování slunečním zářením nebo na nárůst množství oblačnosti není zřejmý. Například v období, kdy se v Berlíně koncentrace SO_2 snižovala, množství oblačnosti rostlo.

Dále byly vypočítány měsíční hodnoty korelačních koeficientů mezi jednotlivými částmi alpského regionu v období 1901–2000 pro porovnání délky slunečního svitu s množstvím oblačnosti a také srážek s množstvím oblačnosti (obr. 25).

Korelační koeficienty mezi délkou slunečního svitu a množstvím oblačnosti sice vyšly podle očekávání záporně, ale jejich analýza nemusí být vždy úplně jednoduchá. Délka slunečního svitu se totiž měří po celou dobu dne, kdežto množství oblačnosti je měřeno pouze v určitých hodinách. Dále také propustnost slunečního záření není stejná u všech typů oblačnosti. Například vliv vertikálně mohutných nimbostratů je mnohem větší než tenkých cirostratů (Wibig a Głowicki, 2002). Z obrázku je ale vidět, že délka slunečního svitu koreluje s oblačností o něco více než srážky. Pro obě dvojice podle obrázku 25 platí, že v období březen – říjen jsou jejich závislosti na sobě větší než v období listopad – únor. Poměrně nízké koeficienty v zimě jsou nejspíše způsobeny inverzní činností a vrstevnatou oblačností, která sice v nižších polohách brání průchodu slunečního záření, ale většinou nepřináší žádné nebo pouze slabé srážky. (Auer et al., 2007)



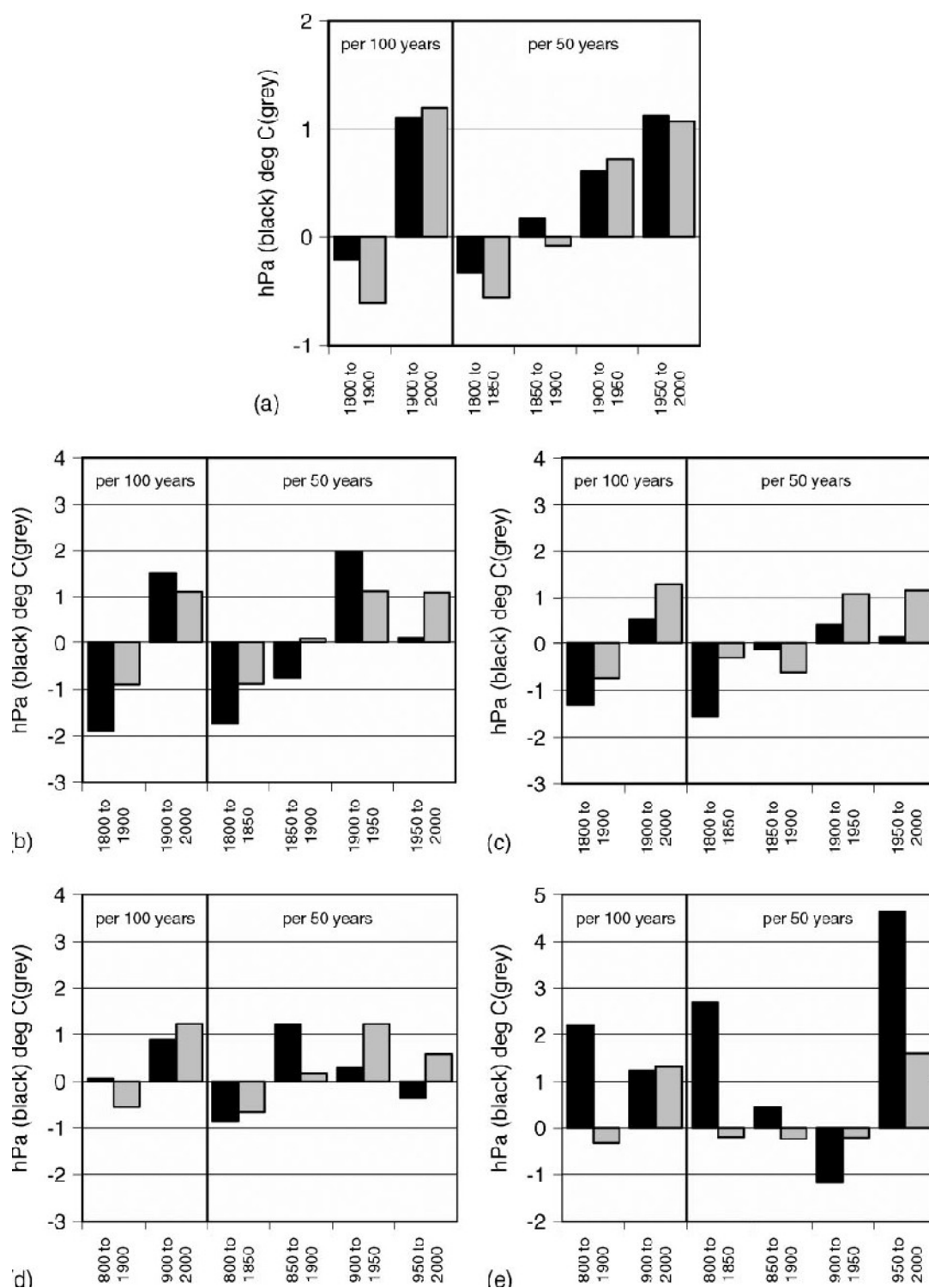
Obr. 25, Měsíční korelační koeficienty mezi srážkami a množstvím oblačnosti (nahore) a délkou slunečního svitu a množstvím oblačnosti (dole) v období 1901–2000. Na ose x jsou měsíce a na ose y jsou hodnoty korelačních koeficientů. Odlišné typy čar značí korelační koeficienty pro jednotlivé části alpského regionu: severozápadní část (NW), severovýchodní část (NE), jihozápadní část (SW), jihovýchodní část (SE) a nejvyšší část Alp (HIGH). (Auer et al., 2007)

Zajímavé trendy ve vztahu srážek a oblačnosti byly zjištěny také v České republice pro období 1961–2005. V zimě dochází k poklesu množství oblačnosti, které ale není doprovázeno tak výraznými změnami ve srážkových úhrnech, a naopak

v létě dochází k růstu srážkových úhrnů, ale není registrována změna množství oblačnosti. Takto rozdílné trendy by mohly být ovlivněny tím, že v zimě klesá množství inverzní oblačnosti, která je většinou nesrážková, a v létě se zvyšuje intenzita srážek konvekční oblačnosti. (Moliba et al., 2006)

V České republice Brázdil et al. (2009) vypočítali trendy délky slunečního svitu 1961–2005, které jsou v souladu s trendy teplotních ukazatelů z této studie. Jarní, letní, zimní a roční trendy jsou tedy kladné a výjimku tvoří podzim, kdy je trend záporný. Podobně jako u srážek je výrazný rok 2003, ve kterém byla délka slunečního svitu nejdelší za sledované období a ostatní roky s nejdelší dobou slunečního svitu převyšuje o více než 200 hodin. Dále byly vypočítány také trendy relativní vlhkosti, které jsou naopak pro jaro, léto, zimu a celý rok klesající a jediný podzimní trend je kladný.

Auer et al. (2007) se také zabývali 50 a 100letými ročními a sezónními lineárními trendy teploty a tlaku vzduchu stanic z alpského regionu do 1500 m n. m (obr. 26). Ve většině případů mají buď obě veličiny kladné, nebo obě záporné trendy. V 2. polovině 20. století jsou trendy teploty i tlaku vzduchu kladné ve všech ročních obdobích kromě podzimu, ve kterém je sice trend teploty kladný, ale trend tlaku vzduchu je záporný. Zajímavé trendy najdeme i v zimním období 2. poloviny 20. století, kdy došlo k nebývale velkému nárůstu tlaku vzduchu (o 4,5 hPa/50 let) a také k velkému oteplení (o 1,6 °C/50 let). Roční trend tlaku vzduchu ve 2. polovině 20. století je vyšší než 1hPa/50 let a je způsoben právě velkým zvýšením tlaku vzduchu v zimě. (Auer et al., 2007)



Obr. 26, 50 a 100 leté lineární trendy průměrné teploty (šedé sloupce) a tlaku vzduchu (černé sloupce) pro a) rok, b) jaro, c) léto, d) podzim, e) zimu. (Auer et al., 2007)

Brázdil et al. (2009) vypočítali roční a sezónní trendy tlaku vzduchu na dvou stanicích v Česku (Praha-Karlov a Brno-Tuřany) v období 1961–2005. Obě stanice ukazují podobné, i když nevýznamné trendy. Změny v ročních hodnotách tlaku vzduchu

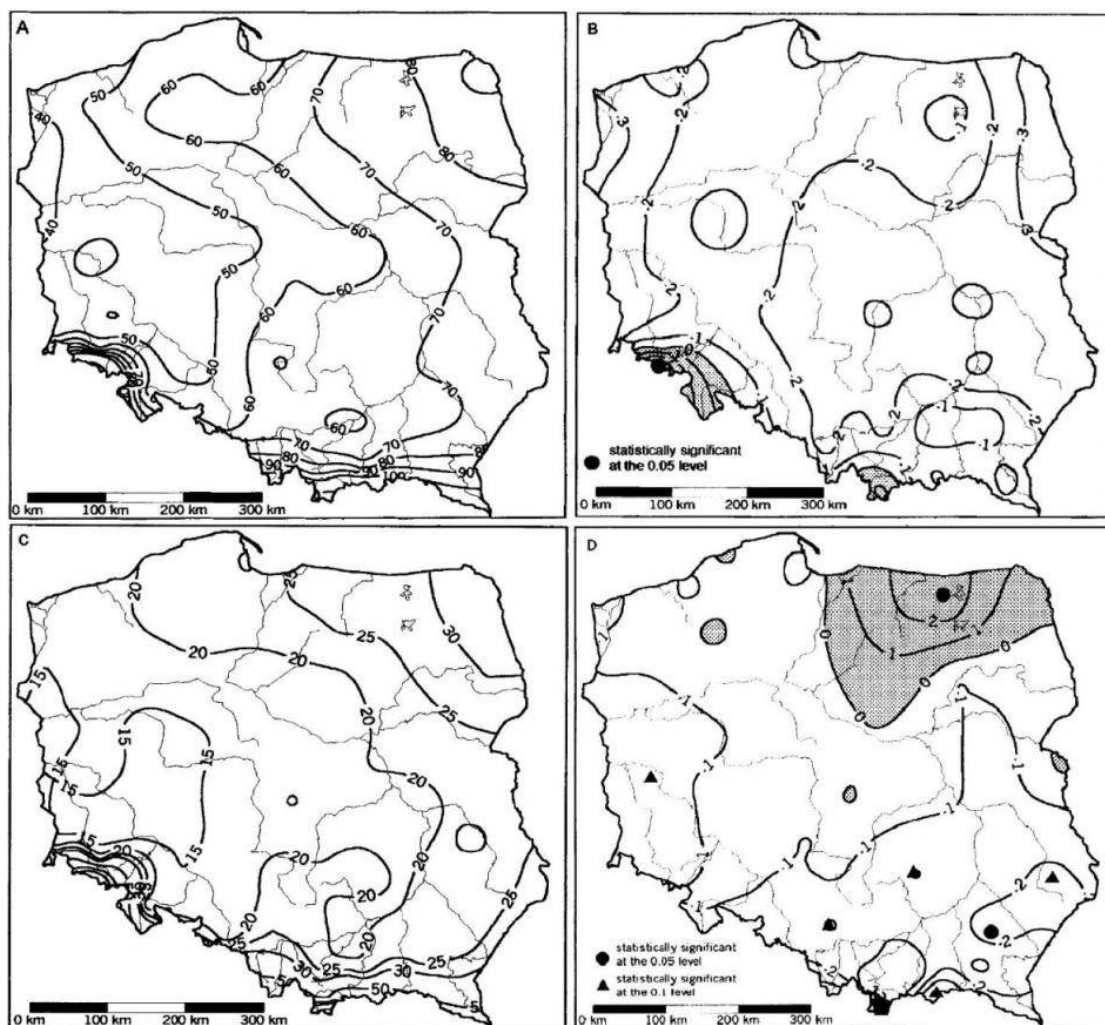
vykazují stoupající trend (0,21hPa/10 let), který je srovnatelný s trendem vypočítaným pro Alpský region (Auer et al., 2007). Tento roční trend je v Česku také způsobený zejména zvýšením tlaku vzduchu v zimě, ale přispívá zde také kladný trend na jaře. Změna tlaku v létě a na podzim je sice záporná, ale velmi nevýrazná (tab. 3).

Station	Winter	Spring	Summer	Autumn	Year
Prague-Karlov	0.68	0.34	−0.00	−0.07	0.21
Brno-Tuřany	0.72	0.33	−0.02	−0.06	0.21

Tab. 3, Roční a sezónní trendy průměrného tlaku vzduchu (hPa/10 let) na stanici Praha-Karlov a Brno-Tuřany v období 1961–2005. (Brázdil et al., 2009)

Změny atmosférické cirkulace, teploty vzduchu, srážek, slunečního svitu nebo směru větru mají vliv na výšku a trvání sněhové pokrývky, jejichž změny v Polsku ve 2. polovině 20. století (1948/1949–1997/1998) popisuje Falarz (2004). Izolinie průměrné délky trvání sněhové pokrývky mají zřejmý poledníkový charakter (obr. 27, A), pokud nebereme v úvahu pohoří na jihu a jihozápadě Polska, kde je délka trvání sněhové pokrývky samozřejmě delší. Na západě Polska sněhová pokrývka vydrží nejkratší dobu v roce a směrem k východu se tato doba navyšuje, a je zde tedy evidentní vliv západní atmosférické cirkulace. Největší úbytek počtu dní se sněhovou pokrývkou za 2. polovinu 20. století byl zaznamenán v severovýchodní a severozápadní části Polska a to až -3,6 dní za 10 let (obr. 27, B). Zvýšení počtu dní se sněhovou pokrývkou nastalo pouze v jižních částech Polska, a to v Oravském regionu, Tatrách a Krkonoších s nejvyšším trendem na Sněžce (4,8 dní za 10 let). Rozložení průměrné maximální výšky sněhové pokrývky (obr. 27, C) je podobné, jako tomu bylo u délky trvání sněhové pokrývky. Na západě Polska jsou opět nejnižší hodnoty (15 cm), které postupně stoupají severovýchodním směrem (přes 34 cm). V pohořích v jižní části Polska je průměrná maximální výška sněhu samozřejmě vyšší (v Tatrách přes 150 cm). Trendy průměrné maximální výšky sněhové pokrývky (obr. 27, D) se značně liší od trendů délky trvání sněhové pokrývky. Na většině rozlohy Polska jsou trendy klesající, které dosahují maximálních hodnot 5 cm za 10 let. V severovýchodní části Polska je ale naopak oblast, kde jsou trendy kladné a zde průměrné maximální výšky sněhu přibývá. Trendy maximální výšky i délky trvání sněhu jsou v průměru v Polsku

mírně klesající. Tyto trendy by mohly být způsobeny častějšími západními větry v období zimy, jejichž trendy jsou v tabulce 4.



Obr. 27, A: Průměrná délka trvání sněhové pokrývky (počet dní se sněhovou pokrývkou ≥ 1 cm v zimním období). B: Trend délky trvání sněhové pokrývky (počet dní za 10 let). C: Průměrná maximální výška sněhové pokrývky (cm) v zimním období. D: Trend maximální sněhové pokrývky (cm za 10 let). Území, kde je trend pozitivní, je zvýrazněno šedou barvou. Všechny obrázky se vztahují k sezónám 1948–1949 až 1997–1998 (Falarz, 2004)

V České republice najdeme převážně klesající trendy počtu dnů se sněhovou pokrývkou. Nejvíce těchto dnů ubývá v zimě, a to se odráží také v celoročním trendu, který je také záporný. Jarní, a podzimní trendy jsou velice slabé. (Brázdil et al., 2009)

Serquet et al. (2011) zkoumali sezónní trendy a teplotní závislost poměru dnů se sněžením a deštivých dnů ve Švýcarsku. Tato studie si kladla za cíl přijít na to,

jak počty dnů se sněžením ovlivňuje pouze teplota, a chtěli eliminovat vliv změn v četnosti a intenzitě úhrnů srážek. Proto neměřili samostatně počty dnů se sněžením nebo počet dnů se sněhovou pokrývkou (jako například Falarz, 2004 a Brázdil et al., 2009), který může být změnou úhrnů srážek lehce ovlivněn, ale zde byl porovnáván poměr počtu dnů se sněžením k počtu deštivých dnů (SD/DD). Trendy byly počítány pro různé nadmořské výšky, pro dvě roční období (zimu a jaro), a také pro dva časové intervaly (1961–2008 a 1979–2008). Trend SD/DD zapříčiněný zejména nárůstem teploty je klesající. Výraznější pokles na stanicích v nižších nadmořských výškách je způsoben tím, že se zde teploty pohybují častěji kolem bodu tání než ve vyšších nadmořských výškách, a vliv teploty je tím pádem silnější. Od 60. (70.) let 20. století se v této oblasti zvýšila teplota o 1,48°C (1,82°C), ale ve vysokých nadmořských výškách jsou i přesto teploty pod bodem mrazu, a nemá to tedy velký vliv na skupenství srážek. V jarních měsících se teploty také pohybují častěji kolem bodu tání, a proto je i zde pokles výraznější než v zimě.

Degirmendžić et al. (2004) uvádějí trendy složek větru (tab. 4), které by mohly ovlivňovat teplotu a srážky nejen na území Polska. Největší nárůst západního proudění větru v období 1951–2000 je během měsíců leden, únor a březen a v těchto měsících byly u teploty v Polsku zaznamenány také nejvyšší trendy oteplování. U severního proudění větru jsou trendy slabší. V prosinci byl nalezen kladný, jediný statisticky významný trend, v květnu byl naopak trend nejnižší. Trend v prosinci byl doprovázen velice slabým ochlazováním a v květnu bylo zaznamenáno statisticky významné oteplení.

Wind component	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Year
V_W	0.51	0.77	0.47	0.03	0.04	0.13	−0.04	−0.07	−0.24	0.05	0.11	0.22	0.17
V_N	0.23	0.17	−0.05	0.04	−0.11	−0.04	−0.04	−0.04	−0.04	0.05	0.13	0.33	0.02

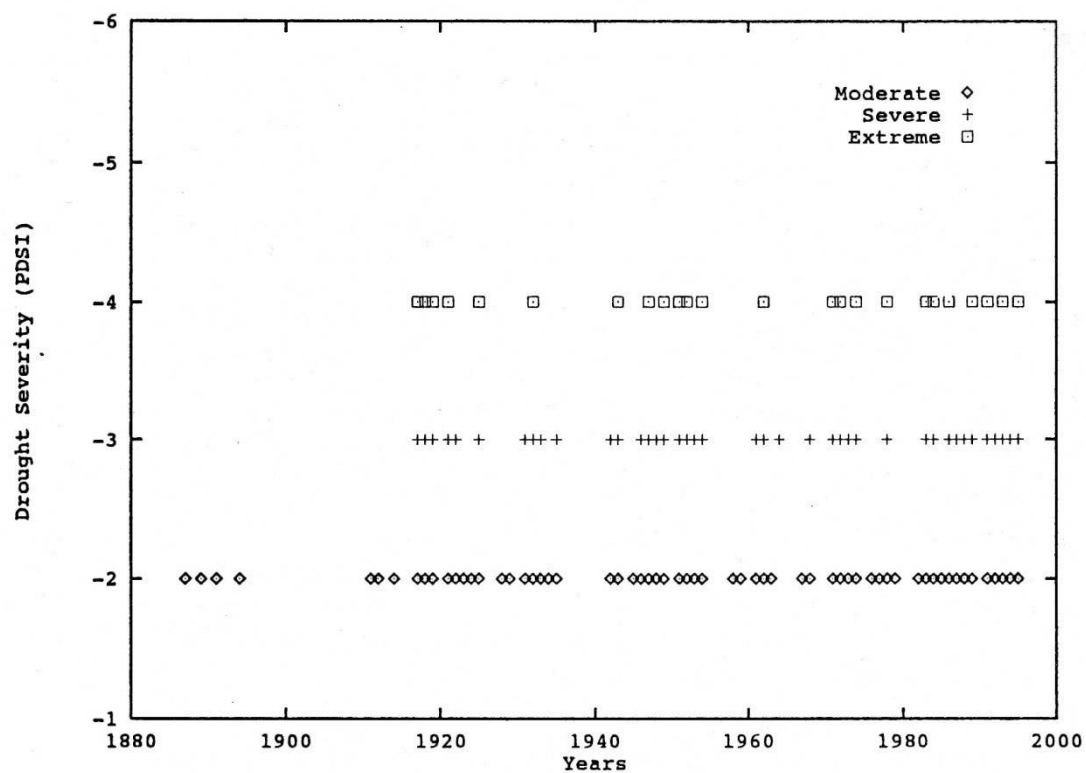
Tab. 4, Lineární trendy geostrofického větru nad střední Evropou (m/s za 10 let) v období 1951–2000. V_W a V_N jsou západní a severní složky geostrofického větru. Statisticky významné trendy jsou vyznačeny tučně. (Degirmendžić et al., 2004)

V České republice zkoumali Brázdil et al. (2009) trendy rychlosti větru. Ve všech měsících, s výjimkou října, ročních obdobích a celém roce jsou trendy rychlosti větru klesající. Tyto trendy jsou ve většině případů statisticky významné

alespoň na 25 % stanic (Brázdil et al., 2009). Moliba et al. (2006), kteří zkoumali rychlost větru na čtyřech stanicích České republiky, našli rozdílné trendy a je pravděpodobné, že rychlost větru má nehomogenní charakter a projevuje se vliv lokálních faktorů na jednotlivých stanicích.

Jak již bylo vidět u obrázků srážkových ukazatelů pro stanice v celé Evropě (obr. 15 a 18), na území Maďarska dochází jak ke snižování intenzity srážek, tak i k jejich celkovému úbytku, což má vliv na vyšší výskyt suchých období. Szinell et al. (1998) zkoumal výskyt a intenzitu sucha a jako hlavní ukazatel zvolil Palmer drought severity index (PDSI), který byl již popsán u globální studie tohoto indexu. Při vytváření kategorií se brala v úvahu nejen hodnota PDSI, ale také územní rozsah, kde bylo sucho zaznamenáno. Byly vytvořeny tři kategorie, u kterých se zvyšující se hodnotou PDSI klesá rozsah sucha, protože intenzivnější sucha mají nižší pravděpodobnost ovlivnit velké území. Kategorie vypadají tedy následovně: mírné sucho je v tom případě, když hodnota $PDSI < -2,0$ a rozsah je větší než 50 % území Maďarska, silné sucho je při hodnotě $PDSI < -3,0$ a rozsah je větší než 33 % rozlohy státu a extrémně silné sucho nastává, pokud je $PDSI < -4,0$ a rozsah je větší než 20 % rozlohy státu.

Na obrázku 28 jsou zobrazeny dané kategorie intenzity sucha za období 1881–1995, kde můžeme vidět, že k výskytu mírného a silného sucha docházelo v posledních dvou dekadách téměř každým rokem. Szinell et al. (1998) pomocí statistického testu zjistili, že se sucha vyskytovala častěji v druhé polovině 20. století a to jak v jednotlivých sezónách, tak i v průměru za celý rok. Nebyla zjištěna výrazná odlišnost v intenzitě nebo četnosti suchých období během podzimních měsíců. Na území Maďarska tedy nejspíše na podzim nedochází k odlišnému vývoji srážkových poměrů od ostatních období.



Obr. 28, Intenzity sucha v Maďarsku za období 1881–1995. Kosočtverci je znázorněna mírná intenzita sucha, plusy jsou označena silná sucha a čtverečky jsou označena extrémní sucha. Na ose x jsou roky, ve kterých se daná sucha odehrála, a na ose y jsou hodnoty PDSI. (Szinell et al., 1998)

5. Diskuze a výsledky

Nyní bych chtěl shrnout hlavní výsledky, ke kterým se v uváděných studiích dospělo, a uvést možné souvislosti mezi rostoucími či klesajícími trendy některých veličin.

U vývoje průměrné teploty v globálním měřítku jsme si mohli všimnout, že oteplování v posledních dvou dekádách 20. století bylo větší než na začátku 2. poloviny 20. století. Domonkos a Tar (2003) sice uvádějí, že během 20. století došlo ke zvýšení průměrné teploty o $0,6 \pm 0,2$ °C, což se ještě nemusí zdát jako velká změna, ale měli bychom si uvědomit, že téměř k polovině tohoto nárůstu došlo v posledních dvou dekádách minulého století, a navíc na kontinentech severní polokoule bylo oteplování mnohem větší než globální průměr. V Evropě se také na naprosté většině stanic projevil velký nárůst teplot ke konci minulého století a i přesto, že z počátku 2. pol. 20. stol. se spíše ochlazovalo, výsledný trend za celou 2. pol. 20. stol. byl spíše kladný nebo statisticky nevýznamný. Při výpočtu sezónních trendů v období 1976–99 bylo zjištěno, že v zimě, na jaře i v létě dochází k nárůstu teplot, zatímco na podzim teploty spíše klesají. Nejvyšší trendy se odehrály v zimních měsících. V žádné studii nebylo zjištěno, že by ve střední Evropě docházelo k poklesu průměrné roční teploty. Při zkoumání sezónních trendů průměrné teploty se ale ukázalo, že například v Sasku jsou podzimní trendy odlišné od ostatních ročních období a na podzim průměrná teplota klesá, což se shoduje s výsledky studie Klein Tank et al. (2005) pro celou Evropu. Tyto sezónní trendy by mohly souviset mimo jiné s trendy západní složky geostrofického větru, které byly zjištěny v Polsku. V měsících duben–listopad jsou totiž tyto trendy nízké s minimem v září a v lednu, únoru a březnu jsou tyto trendy poměrně vysoké, což by mohlo ve střední Evropě teploty spíše zvyšovat. V globálním měřítku bylo dále zjištěno, že v období 1951–90 se T_{min} zvýšila třikrát více než T_{max} , což ve výsledku znamenalo poměrně výrazné snížení DTR. Ve střední Evropě došlo také ke zvýšení T_{min} i T_{max} , mezi kterými ale nebyl takový rozdíl a trend DTR byl většinou záporný, ale statisticky nevýznamný. Tento statisticky nevýznamný trend je pravděpodobně spojen s malou změnou v množství oblačnosti. Po rozboru na sezónní trendy vycházely pro střední Evropu nejvyšší kladné trendy T_{min} i T_{max} v zimě a záporné trendy byly nalezeny u T_{min} v létě a u T_{max} na podzim. S nárůstem průměrné roční T_{min} souvisí také snižování průměrného ročního počtu mrazových dnů pro střední i celou Evropu.

Sezónní trendy tohoto ukazatele vypočítané pro Polsko ale nebyly jednoznačné a podzim byl zde opět výjimkou, protože v této části roku mrazových dnů přibývalo. I když jsem nenarazil na studii, která by se zabývala trendy letních dnů ve střední Evropě, dalo by se předpokládat, že jejich trend by byl rostoucí (stejně tak jako v celé Evropě), ale ne tak výrazný jako u mrazových dnů, protože T_{max} se zvýšila během 2. poloviny 20. století méně než T_{min} . Dále byly také zjištěny kladné průměrné roční trendy počtu horkých vln v západním Německu a také v Gdaňské zátocě, kde byly ještě navíc nalezeny klesající trendy počtu studených vln.

Srážkové trendy nebyly obecně tak výrazné jako teplotní trendy. V globálním měřítku došlo během minulého století ke statisticky nevýznamnému zvýšení srážkových úhrnů. Trendy úhrnů srážek v Evropě za 2. polovinu 20. století byly také na většině stanic statisticky nevýznamné, a pokud byly nalezeny statisticky významné trendy, tak byly převážně kladné (s výjimkou jihovýchodní Evropy). V některých studiích se objevovaly zmínky o vlivu indexu Severoatlantické oscilace na teplotu a srážky. V tomto případě si myslím, že vliv NAOI na srážky je docela pravděpodobný, protože v posledních dekadách byl zaznamenán nárůst tohoto indexu, jehož pozitivní hodnoty by měly způsobovat příliv větších úhrnů nad severní částí Evropy a ve Středomoří by mělo naopak srážek ubývat, což by do jisté míry korespondovalo s trendy srážkových úhrnů podle Klein Tank a Können (2003). Trendy intenzity srážek v Evropě jsou velmi podobné trendům srážkových úhrnů, a je zde tedy jasná převaha statisticky nevýznamných trendů, které jsou doplněny zejména kladnými trendy. Srážkové trendy nejsou ve střední Evropě tak jednotné jako trendy teplotní. Například v Česku a Polsku byly trendy průměrných ročních srážkových úhrnů stejně jako globální a celoevropské trendy kladné, ale statisticky nevýznamné. V Maďarsku ale došlo během 20. století k úbytku srážkových úhrnů o 93 mm a byla zde zjištěna záporná korelace mezi úhrny srážek a NAOI, což napovídá tomu, že by Maďarsko mohlo být ovlivňováno podobně jako Středomoří. Sezónní trendy úhrnů srážek byly v České republice i v Sasku nejvyšší v zimě a na podzim a záporné trendy byly v České republice na jaře a v Sasku v létě. V západním Německu byly zjišťovány také trendy intenzity srážek, které byly kladné na jaře, na podzim a v zimě a záporný trend se objevil v létě. Hundecka a Bárdossy (2005) se také ve své studii zmínili o tom, že mírné zvýšení úhrnů srážek by mohlo být způsobeno růstem teplot a tím vyšším výskytem dešťových srážek oproti srážkám sněhovým. Sněhové srážky jsou totiž srážkoměry hůře zachytávány a jsou spíše podhodnocovány. Ze všech studií vyplývá, že podzim se nezdá být nijak výjimečný,

co se týče úhrnů a intenzity srážek. U obou těchto srážkových ukazatelů dochází na podzim ke kladným trendům, které ale nejsou nijak výrazné.

Popisovány byly také další klimatické veličiny a ukazatele, které se ve studiích objevovaly. Patří mezi ně například PDSI, který pro téměř veškerou pevninu na Zemi pro období 1900–2002 uvádí IPCC (2007). Největšími oblastmi, kde intenzita sucha stoupá, je oblast Sahelu nebo jižní Afrika. Naopak Patagonie nebo východní a severní Evropa se podle PDSI stávají vlhčími. V Maďarsku byl použit stejný index pro měření intenzity sucha jako v globální studii IPCC (2007) a bylo zjištěno, že v 2. polovině 20. století dochází k suchým obdobím častěji než v 1. polovině a také, že v posledních dvou dekádách se mírná a silná sucha objevovala téměř každý rok. V globálním měřítku byl také pozorován vztah oblačnosti a srážek pomocí korelačních koeficientů a byl sledován jejich vývoj během let 1976–2003. V korelačních koeficientech byl ale velký rozdíl mezi severní a jižní polokoulí. Zatímco na jižní polokouli byl zjištěn poměrně vysoký korelační koeficient (0,82), na severní polokouli to bylo pouze 0,36 a odchylky v množství oblačnosti se zde tedy příliš nekryly s odchylkami úhrnů srážek. Měsíční hodnoty korelačních koeficientů pro tyto dvě veličiny byly vypočítány i pro alpský region a zde byly v měsících únor – říjen poměrně vysoké, ale v listopadu, prosinci a lednu znatelně klesly, což je pravděpodobně způsobeno nízkou inverzní oblačností, která je často nesrážková. Korelační koeficienty klesaly v těchto měsících také u vztahu oblačnosti s délkou slunečního svitu, ale zde byly i přesto jejich hodnoty po celý rok vysoké. Dále byl popisován vliv oblačnosti na DTR. Oblaky totiž odrážejí část slunečního záření a tím snižují T_{max} a naopak zvyšují odrazivost záření od Země, čímž zvyšují T_{min} . Podrobněji byla popsána oblačnost měřená na stanici v Krakově, která by mohla být reprezentativní pro celé Polsko. Zde došlo v 2. polovině 20. století k vyššímu úbytku množství oblačnosti než v ostatních státech střední Evropy. Trend výskytu bezoblačné oblohy byl podle očekávání opačný oproti množství oblačnosti. Pro Českou republiku byly vypočítány sezónní trendy délky slunečního svitu, které odpovídají teplotním trendům. Jarní, letní, zimní a roční trendy jsou kladné a podzimní trend je záporný. U sezónních trendů tlaku vzduchu v Česku najdeme nejvyšší hodnoty v zimě a nejnižší na podzim. Podzim byl výjimečný také u trendů tlaku vzduchu v Alpách, kde je jediným obdobím, kdy tlak vzduchu klesá. Dále byly zkoumány trendy maximální výšky a délky trvání sněhové pokrývky v Polsku, které byly v obou případech mírně klesající. Tyto trendy mohou být ovlivněny například zvyšující se teplotou nebo úbytkem srážek. V zimních měsících se v Polsku zvyšuje západní složka geostrofického

proudění, která by právě mohla mít vliv na zvýšení teplot v zimě a tím i na klesající trendy sněhové pokrývky. Ve Švýcarsku byl zkoumán poměr dnů se sněžením a deštivých dnů, protože takto se dá zjistit, jaký má vliv na dny se sněžením teplota a eliminuje se tím vliv srážek. Trendy byly vypočítány pouze pro zimu a jaro, ale v obou těchto ročních obdobích byl zaznamenán klesající trend. Výraznější pokles byl na jaře a v nižších nadmořských výškách, protože zde se teploty pohybují častěji kolem bodu tání, než v zimě a ve vyšších nadmořských výškách.

6. Závěr

Cílem této práce bylo ucelit poznatky o změnách klimatu, které se odehrály ve 2. polovině 20. století ve střední Evropě. Existuje mnoho studií, které se zabývají jednou či dvěma klimatickými veličinami (zejména teplotou nebo srážkami), ale komplexních studií, kde by bylo popisováno více klimatických veličin a bylo by hledáno ovlivnění těchto veličin mezi sebou, je opravdu velmi málo. Do své bakalářské práce jsem zařadil některé informace o změnách klimatu v celoevropském a globálním měřítku, které jsem se pokusil porovnat se změnami odehrávajícími se ve střední Evropě. Můžeme říci, že trendy zjištěné ve střední Evropě se velmi podobají trendům v celé Evropě a dokonce i globálním trendům. Střední Evropa se zdá být z hlediska průměrných ročních trendů jednotlivých klimatických veličin poměrně jednotná a žádný ze států (možná kromě Maďarska ve srážkových úhrnech) nijak nevyčnívá. Velké rozdíly ale byly zjištěny mezi sezónními trendy. To se týká zejména teploty a některých dalších veličin, které jsou teplotou ovlivněny. Při porovnání sezónních teplotních trendů bylo zjištěno, že teplota roste na jaře, v létě a zejména v zimě. I když byl v některých studiích zjištěn kladný podzimní teplotní trend, byl vždy nižší než trendy v ostatních ročních obdobích. Ve většině případů ale byly podzimní teplotní trendy záporné.

Střední Evropa nepatří mezi oblasti, které by byly bezprostředně ohrožené obdobími sucha nebo vysokými teplotami, ale změny teplot jsou zde výrazné, a proto je i zde zkoumání změn klimatu důležité.

7. Seznam literatury a zdrojů

- AUER, I., BÖHM, R., JURKOVIC, A., LIPA, W., ORLIK, A., POPTZMANN, R., SCHÖNER, W., UNGERSBÖCK, M., MATULLA, CH., BRIFFA, K., JONES, P., EFTHYMIADIS, D., BRUNETTI, M., NANNI, T., MAUGERI, M., MERCALLI, L., MESTRE, O., MOISSELIN, J. M., BEGERT, M., MÜLLER-WESTERMEIER, G., KVETON, V., BOCHNICEK, O., STASTNY, P., LAPIN, M., SZALAI, S., SZENTIMREY, T., CEGNAR, T., DOLINAR, M., GAJIC-CAPKA, M., ZANINOVIC, K., MAJSTOROVIC, Z., NIEPLOVA, E. (2007): *HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region*. International Journal of Climatology, Vol. 27, s. 17–46
- BELL, I. [200–]: North Atlantic Oscillation [online]. Poslední revize 10. 12. 2009 [cit. 2011-07-30]. Dostupné z: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>
- BERANOVÁ, R. [2007]: *Módy cirkulační proměnlivosti. Lze je použít k dlouhodobé předpovědi počasí?* [online]. Poslední revize 27. 11. 2007 [cit. 2011-07-30]. Dostupné z: www.ufa.cas.cz/html/meteo/lide/prezentace/cirkulacni_mody.ppt
- BÖHM, R., AUER, I., BRUNETTI, M., MAUGERI, M., NANNI, T., SCHÖNER, W. (2001): *Regional temperature variability in the European Alps: 1760–1998 from homogenized instrumental time series*. International Journal of Climatology, Vol. 21, s. 1779–1801
- BRÁZDIL, R., CHROMÁ, K., DOBROVOLNÝ, P., TOLASZ, R. (2009): *Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005*. International Journal of Climatology, Vol. 29, s. 223–242
- BRÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M., AUER, I., BÖHM, R., CEGNAR, T., FAŠKO, P., LAPIN, M., GAJIC-ČAPKA, M., ZANINOVIC, K., KOLEVA, E., NIEDZWIEDZ, T., USTRNUL, Z., SZALAI, S., WEBER, R. O. (1996): *Trends of maximum and minimum daily temperatures in central and southeastern Europe*. International Journal of Climatology, Vol. 16, s. 765–782
- BRÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M., FAŠKO, P., LAPIN, M. (1995): *Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics*. Atmospheric Research, Vol. 37, s. 53–65
- DAI, A., TRENBERTH, K. E., KARL, T. R. (1999): *Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapour on diurnal temperature range*. Journal of Climate, Vol. 12, s. 2451–2473

- DEGIRMENDŽIĆ, J., KOŽUCHOWSKI, K., ŽMUDZKA, E. (2004): *Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation*. International Journal of Climatology, Vol. 24, s. 291–310
- DOMONKOS, P., TAR, K. (2003): *Long-term changes in observed temperature and precipitation series 1901–1998 from Hungary and their relations to larger scale changes*. Theoretical and Applied Climatology, Vol. 75, s. 131–147
- FALARZ, M. (2004): *Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century*. International Journal of Climatology, Vol. 24, s. 1713–1727
- FRANKE, J., GOLDBERG, V., EICHELMANN, U., FREYDANK, E., BERNHOFER, CH. (2004): *Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany*. Climate Research, Vol. 27, s. 145–150
- HEGERL, G. C., ZWIERS, F. W., STOTT, P. A., KHARIN, V. V. (2004): *Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes*. Journal of Climate, Vol. 17, s. 3683–3700
- HEINO, R., BRÁZDIL, R., FØRLAND, E., TUOMENVIRTA, H., ALEXANDERSSON, H., BENISTON, M., PFISTER, C., REBETEZ, M., ROSENHAGEN, G., RÖSNER, S., WIBIG, J. (1999): *Progress in the study of climatic extremes in northern and central Europe*. Climatic Change, Vol. 42, s. 151–181
- HUNDECHA, Y., BÁRDOSSY, A. (2005): *Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century*. International Journal of Climatology, Vol. 25, 1189–1202
- HUTH, R., POKORNÁ, L. (2005): *Simultaneous analysis of climatic trends in multiple variables: An example of application of multivariate statistical methods*. International Journal of Climatology, Vol. 25, s. 469–484
- CHLÁDOVÁ, Z., KALVOVÁ, J. (2005): *Změny vybraných teplotních kvantilů v období 1961–2000*. Meteorologické zprávy, roč. 58, s. 111–118
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M., MILLER, H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

- KARL, T. R., JONES, P. D., KNIGHT R. W., KUKLA, G., PLUMMER, N., RAZUVAYEV, V., GALLO, K. P., LINDSEAY, J., CHARLSON, R. J., PETERSON, T. C. (1993): *A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature*. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 74, No. 6, s. 1007–1023
- KLEIN TANK, A. M. G., KÖNNEN, G. P., SELTEN F. M. (2005): *Signals of anthropogenic influence on European warming as seen in the trend patterns of daily temperature variance*. International Journal of Climatology, Vol. 25, s. 1–16
- KLEIN TANK, A. M. G., KÖNNEN, G. P. (2003): *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99*. Journal of Climate, Vol. 16, s. 3665–3680
- KLEIN TANK, A. M. G., WIJNGAARD, J., VAN ENGELEN, A. (2002): *Climate of Europe: Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. KNMI. [online]. [citováno 2011-04-26]. Dostupné z: <http://eca.knmi.nl/documents/ECAreportHighRes.pdf>
- LITSCHMANN, T., KLEMENTOVÁ, E., ROŽNOVSKÝ, J. [200–]: Palmerův index závažnosti sucha a jeho použití v našich podmínkách. [online]. [cit. 2011-07-30]. Dostupné z: <http://www.amet.cz/PD01.pdf>
- MATUSZKO, D. (2003): *Cloudiness changes in Cracow in the 20th century*. International Journal of Climatology, Vol. 23, s. 975–984
- MIĘTUS, M., FILIPIAK, J. (2004): *The temporal and spatial patterns of thermal conditions in the area of the southwestern coast of the Gulf of Gdańsk (Poland) from 1951–1998*. International Journal of Climatology, Vol. 24, s. 499–509
- MOBERG, A., JONES, P. D. (2005): *Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901–99*. International Journal of Climatology, Vol. 25, s. 1149–1171
- MOLIBA, J., C., HUTH, R., BERANOVÁ, R. (2006): *Roční chod trendů klimatických prvků v České republice*. Meteorologické zprávy, roč. 59, č. 5, s. 129–134
- Sceptical Science [2008]: *A Scientific Guide to the “Sceptics Handbook”*. [online]. [cit. 2011-07-13]. Dostupné z: <http://www.skepticalscience.com/docs/ScientificGuideSkepticsA5.pdf>
- SERQUET, G., MARTY, CH., DULEX, J. P., REBETEZ, M. (2011): *Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland*. Geophysical Research Letters, Vol. 38, L07703, DOI:10.1029/2011GL046976

- SZINELL, C. S., BUSSAY, A., SZENTIMREY, T. (1998): *Drought tendencies in Hungary*. International Journal of Climatology, Vol. 18, s. 1479–1491
- WEBER, R. O., TALKNER, P., AUER, I., BÖHM, R., GAJIC-ČAPKA, M., ZANINOVIĆ, K., BRÁZDIL, R., FAŠKO, P. (1997): *20th-century changes of temperature in the mountain regions of central Europe*. Climatic Change, Vol. 36, s. 327–344
- WIBIG, J., GŁOWICKI, B. (2002): *Trends of minimum and maximum temperature in Poland*. Climate Research, Vol. 20, s. 123–133
- Wikimedia Commons (2009): [online]. Poslední revize 25. 8. 2009 [cit. 2011-07-24]. Dostupné z:
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Central_Europe_\(Brockhaus\).PNG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Central_Europe_(Brockhaus).PNG)